BIBLIOTHÈQUE DES ACTUALITÉS INDUSTRIELLES N° 47

620.8
43

# Carnet de l'Ingénieur

TABLES ET FORMULES A L'USAGE DES

Ingénieurs, Chefs d'usines, Mécaniciens,

Manufacturiers, Industriels

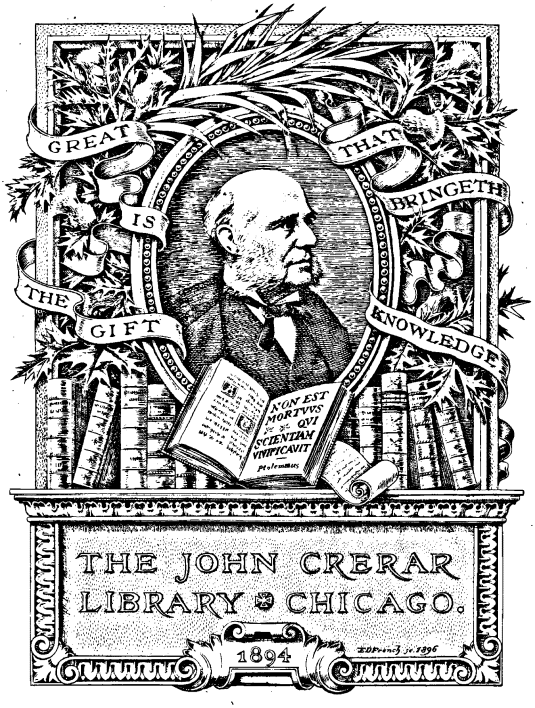
1903

Paris

Librairie Bernard TIGNOL

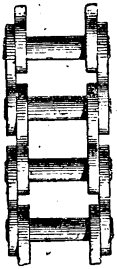
PUBLICATIONS DE L'ECOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

53bis, Quai des Grands-Augustins


GREAT IS THE GIFT THAT BRINGETH KNOWLEDGE
NON EST MORTVVS QVI SCIENTIAM VIVIFICAVIT
Ptolemaeus
THE JOHN CRERAR LIBRARY CHICAGO.
1894
E.D.French sc. 1896

Paris, 84, Rue Oberkampf, Paris

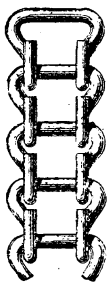
# Chaînes GALLE & VAUCANSON



POUR

TOUS TYPES

Ancienne Maison GALLE



## E. BENOIT

SUCCESSEUR DE

VAUTIER-GUYOT

**CHAINES pour Voitures automobiles**

**USINE A VAPEUR**

PARIS

*Exposition 1900. — Médailles d'Argent et de Bronze*

# ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES

# A. DURENNE

Société anonyme au capital de 2.600.000 francs

**26, rue du Faubourg Poissonnière, 26 — PARIS**

DÉPOT : **44 *bis*, rue d'Allemagne — PARIS**

---

**USINES :** Téléph. 414-26

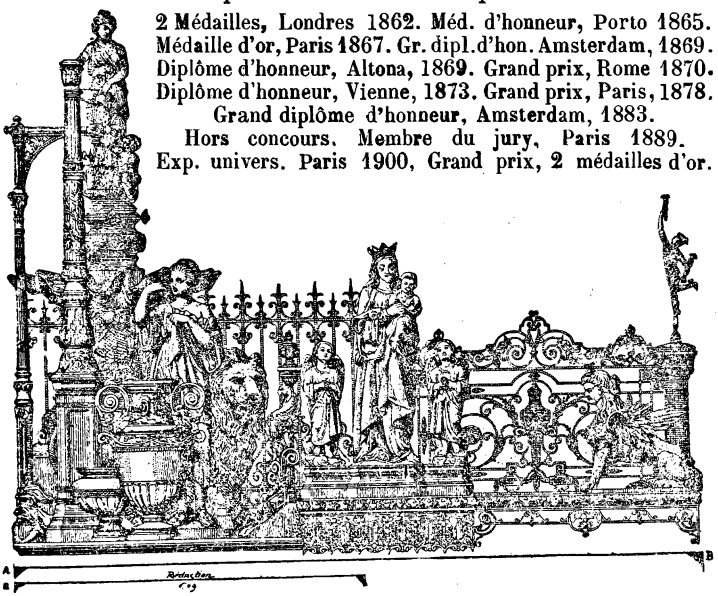
à **SOMMEVOIRE** (**Hte-Marne**), spécialité de fontes pour Bâtiments et Constructions. Statues. Fonte d'art et d'ornement. Bronze d'art, Matériel pour installations électriques (éclairage et traction).

à **BAR-LE-DUC** (**Meuse**), spécialité de tuyaux pour conduites d'eau, de gaz, de vapeur de tous systèmes. Atelier d'ajustage pour pièces travaillées. Pièces d'usine à gaz. Spécialité de tuyaux système J. LAVRIL, à joints de caoutchouc élastiques et compensateurs.

à **WASSY** (**Haute-Marne**), pièces mécaniques sur plans et sur modèles. Fontes spéciales.

**Récompenses obtenues aux Expositions Universelles**

2 Médailles, Londres 1862. Méd. d'honneur, Porto 1865. Médaille d'or, Paris 1867. Gr. dipl. d'hon. Amsterdam, 1869. Diplôme d'honneur, Altona, 1869. Grand prix, Rome 1870. Diplôme d'honneur, Vienne, 1873. Grand prix, Paris, 1878. Grand diplôme d'honneur, Amsterdam, 1883. Hors concours, Membre du jury, Paris 1889. Exp. univers. Paris 1900, Grand prix, 2 médailles d'or.



**FONTE DE FER EN TOUS GENRES**

FOURNISSEURS DE LA VILLE DE PARIS

**Reproduction en bronze et en fonte de fer de Groupes, Statues, Animaux, etc.**

*Etudes, Plans, Devis sur demande.*

**Expos. de Paris 1900, 3 Grands Prix, 3 Médailles d'Or, 32 Diplômes d'Honneur aux diverses Expositions.**

# JULES RICHARD

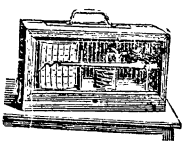
Fondateur et Successeur de la Maison RICHARD FRÈRES

**25, rue Mélingue** (anc. imp. Fessart), **PARIS**

Exposition et vente : **3, rue Lafayette** (pr. l'Opéra)

**Appareils de Mesure et Contrôle pour les Sciences et l'Industrie**

**Enregistreurs** écrivant à l'encre leurs indications d'une façon continue sur un papier se déplaçant en fonction du temps.



Baromètre enregist.

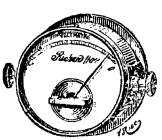
## MÉTÉOROLOGIE

Actinomètres, Anémomètres et Anémoscopes, Baromètres, Hydromètres, Pluviomètres, Psychromètres, Thermomètres enregistreurs.

## MÉCANIQUE

Dynamomètres de traction sans ressorts. Indicateurs de marche des machines. Indicateur de vitesse absolue. Indicateurs dynamométriques de Watt (syst. Richard). Manomètres enregistreurs. Indicateurs et enregistreurs de vide. Transmetteurs de niveau à distance, etc

## ÉLECTRICITÉ

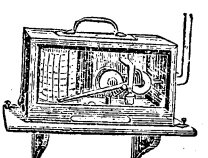


Ampèremètre à cadran

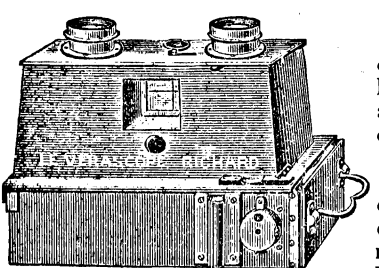
Ampèremètres et Voltmètres à cadran et enregistreurs pour courants continus et courants alternatifs.

Compteurs horaires, agréés par la Ville de Paris.

Wattmètres enregistreurs.



Voltmètre enregistreur




## PHOTOGRAPHIE

Le **Vérascope** breveté S.G.D.G. ou jumelle stéréoscopique donne l'image vraie garantie superposable avec la nature comme grandeur et comme relief.

Les Homéoscopes 6 × 6 1/2 et 8 × 9

Le **Taxiphote** nouveau stéréoscope classeur distributeur automatique pouvant faire la projection. Sécurité absolue des diapositifs.

**Envoi de la notice illustrée sur demande.**

Expos. Univ. 1887 et 1889 : **3 Méd. Or, 3 Méd. Argent**

# BROUHOT & Cie

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS A **VIERZON** (Cher)

**Expos. Universelle Paris 1900, Grand Prix**

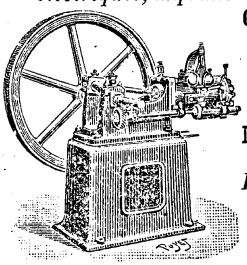
Concours d'Automobiles, de Tourisme & de Voitures de livraisons

Un 1er Prix (Or) et deux 2e Prix (Vermeil)

**MOTEURS A GAZ, A PÉTROLE**

à schiste et à alcool, fixes et mobiles

*pour actionner les pétrins mécaniques, les pompes, les installations électriques, imprimeries, fabriques d'eaux gazeuses, batteuses, etc.*



Concours international de Moteurs à alcool

Organisé par le Ministère de l'Agriculture

Mai 1902

Objet d'art, le seul attribué aux moteurs

2 médailles d'or, 1 médaille de vermeil

Machines à vapeur, Pompes en tous genres

Locomobiles, Batteuses, etc.

*Installations complètes pour élévation d'eau, lumière électrique, etc., dans les châteaux et les usines.*

**VOITURES AUTOMOBILES**

**Envoi franco sur demande du Catalogue illustré.**

*Ce livre appartient à M.* .....

.....

*demeurant à* .....

*rue* .....

# CARNET

# DE L'INGÉNIEUR

1903

# MACHINES

A

# VAPEUR

CRÉPELLE & GARAND

CONSTRUCTEURS A LILLE

# PARIS

- 60 -

**Rue de Provence**

BIBLIOTHÈQUE DES ACTUALITÉS INDUSTRIELLES. — N° 47

# CARNET DE L'INGÉNIEUR

RECUEIL DE TABLES, DE FORMULES

ET DE

## RENSEIGNEMENTS USUELS ET PRATIQUES

MÉCANIQUE — MACHINES — HYDRAULIQUE — RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX
GAZ — ÉLECTRICITÉ

A L'USAGE

DES INGÉNIEURS, DES CHEFS D'USINES,
DES MÉCANICIENS, DES MANUFACTURIERS
ET DES INDUSTRIELS

CARNET LACROIX

PARIS
**Librairie Bernard TIGNOL**
PUBLICATIONS DE LA
LIBRAIRIE de L'ÉCOLE CENTRALE des ARTS et MANUFACTURES
53 bis, quai des Grands-Augustins

# 1er TRIMESTRE 1903

| 1903-JANVIER 7 h. 56 à 4 h. 12 | | | FÉVRIER 7 h. 33 à 4 h. 55 | | | MARS 6 h. 45 à 5 h. 41 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | J | Circoncision | 1 | D | Se Brigitte | 1 | D | Quadragésime |
| 2 | V | S. Basile | 2 | L | Purification | 2 | L | S. Jacob |
| 3 | S | Se Geneviève | 3 | M | Se Blaise | 3 | M | S. Marin |
| 4 | D | S. Rigobert | 4 | M | S. Gilbert PQ | 4 | M | S. Casimir |
| 5 | L | Se Emilie | 5 | J | S. Abel | 5 | J | Se Perpétue |
| 6 | M | Epiphanie PQ | 6 | V | Se Dorothée | 6 | V | Se Colette PQ |
| 7 | M | Se Mélanie | 7 | S | S. Romuald | 7 | S | S. Thom. d'A. |
| 8 | J | S. Lucien | 8 | D | Septuagésime | 8 | D | Reminiscere |
| 9 | V | S. Julien | 9 | L | Se Apolline | 9 | L | Se Françoise |
| 10 | S | S. Guillaume | 10 | M | Se Scholastiq. | 10 | M | Se Dorothée |
| 11 | D | Se Hortense | 11 | M | S. Adolphe PL | 11 | M | S. Euloge |
| 12 | L | S. Arcade | 12 | J | Se Eulalie | 12 | J | S. Pol, évêq. |
| 13 | M | Bapt. J.-C. PL | 13 | V | S. Grégoire | 13 | V | S. Euphra. PL |
| 14 | M | S. Hilaire | 14 | S | S. Valentin | 14 | S | Se Mathilde |
| 15 | J | S. Maur | 15 | D | Sexagésime | 15 | D | Oculi |
| 16 | V | S. Marcel | 16 | L | Se Julienne | 16 | L | Se Octavie |
| 17 | S | S. Antoine | 17 | M | S. Théodule | 17 | M | Se Gertrude |
| 18 | D | Se Prisca | 18 | M | S. Siméon DQ | 18 | M | S. Alexandre |
| 19 | L | S. Sulpice DQ | 19 | J | S. Gabin | 19 | J | S. Joseph |
| 20 | M | S. Sébastien | 20 | V | S. Sylvain | 20 | V | S. Joachim DQ |
| 21 | M | Se Agnès | 21 | S | Se Jeanne | 21 | S | S. Benoît |
| 22 | J | S. Vincent | 22 | D | Quinquagésim | 22 | D | Lætare |
| 23 | V | S. Ildefonse | 23 | L | S. Gérard | 23 | L | S. Victorien |
| 24 | S | S. Babylas | 24 | M | Mardi-Gras | 24 | M | S. Gabriel |
| 25 | D | C. S. Paul | 25 | M | Cendres | 25 | M | Annonciation |
| 26 | L | S. Polycarpe | 26 | J | S. Nestor NL | 26 | J | S. Emmanuel |
| 27 | M | Se Angèle | 27 | V | Se Honorine | 27 | V | S. Jean, évêq. |
| 28 | M | S. Charlem NL | 28 | S | S. Romain | 28 | S | S. Gontran NL |
| 29 | J | S. Fr. de Sal. | L'année russe retarde de 13 jours | | | 29 | D | Passion |
| 30 | V | Se Bathilde | | | | 30 | L | S. Amédée |
| 31 | S | Se Marcelle | | | | 31 | M | S. Benjamin |

## NOTES

620.8 118406
43

# 2e TRIMESTRE

| AVRIL<br>5 h. 41 à 6 h. 29 | | | MAI<br>4 h. 42 à 7 h. 13 | | | JUIN-1903<br>4 h. 3 à 7 h. 52 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | M | Se Valérie | 1 | V | S. J. S. Ph. | 1 | L | S. Pamphile |
| 2 | J | S. Franç. de P. | 2 | S | S. Athanase | 2 | M | S. Pothin PQ |
| 3 | V | Se Irène | 3 | D | Inv. Se Cr. PQ | 3 | M | Se Clotilde |
| 4 | S | S. Isidore PQ | 4 | L | Se Antoinette | 4 | J | Se Emma |
| 5 | D | Rameaux | 5 | M | S. Pie V | 5 | V | Se Florence |
| 6 | L | S. Célestin | 6 | M | S. Jean P. | 6 | S | S. Claude |
| 7 | M | S. Clotaire | 7 | J | S. Stanislas | 7 | D | *Trinité* |
| 8 | M | S. Albert | 8 | V | S. Désiré | 8 | L | S. Médard |
| 9 | J | Se Marie E. | 9 | S | S. Grégoire | 9 | M | Se Pélagie PL |
| 10 | V | Vendredi-St. | 10 | D | S. Antony | 10 | M | S. Maurin |
| 11 | S | S. Léon, p. PL | 11 | L | S. Florent PL | 11 | J | Fête-Dieu |
| 12 | D | *Pâques* | 12 | M | Se Flavie | 12 | V | Se Olympe |
| 13 | L | S. Justin | 13 | M | S. Servais | 13 | S | S. Antoine |
| 14 | M | S. Tiburce | 14 | J | S. Pont | 14 | D | S. Rufin |
| 15 | M | Se Anastasie | 15 | V | Se Denise | 15 | L | S. Abraham |
| 16 | J | S. Fructueux | 16 | S | S. Honoré | 16 | M | S. F. Régis |
| 17 | V | S. Anicet | 17 | D | S. Pascal | 17 | M | S. Avit DQ |
| 18 | S | S. Parfait | 18 | L | Rogations | 18 | J | Se Marine |
| 19 | D | Quasimodo DQ | 19 | M | S. Yves DQ | 19 | V | S. Gervais |
| 20 | L | S. Théodore | 20 | M | S. Bernard | 20 | S | S. Sylvère |
| 21 | M | S. Anselme | 21 | J | *Ascension* | 21 | D | S. Alice |
| 22 | M | Se Opport. | 22 | V | S. Emile | 22 | L | S. Alban |
| 23 | J | S. Georges | 23 | S | S. Didier | 23 | M | S. Félix |
| 24 | V | S. Gaston | 24 | D | Se Mathilde | 24 | M | Nat. S. J-B. NL |
| 25 | S | S. Marc | 25 | L | S. Urbain | 25 | J | S. Prosper |
| 26 | D | S. Clet | 26 | M | S. Philip. NL | 26 | V | Se Héloïse |
| 27 | L | S. Anastas. NL | 27 | M | S. Ildevert | 27 | S | Se Adèle |
| 28 | M | S. Fernand | 28 | J | S. Olivier | 28 | D | Se Irénée |
| 29 | M | Se Aimée | 29 | V | S. Maximin | 29 | L | S. P. S. P. |
| 30 | J | S. Eutrope | 30 | S | S. Ferdinand | 30 | M | C. S. Paul |
| | | | 31 | D | *Pentecôte* | | | |

P. GILLARD

**NOTES**

# 3e TRIMESTRE

| 1903-JUILLET 4 h. 2 à 8 h. 5 | | | AOUT 4 h. 34 à 7 h. 37 | | | SEPTEMBRE 5 h. 17 à 6 h. 42 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | M | Se Eléonor. PQ | 1 | S | Se Espérance | 1 | M | S. Gilles |
| 2 | J | Visit. de la V. | 2 | D | S. Alphonse | 2 | M | S. Antonin |
| 3 | V | S. Anatole | 3 | L | S. Etienne | 3 | J | Se Euphémie |
| 4 | S | Se Berthe | 4 | M | S. Dominique | 4 | V | Se Rosalie |
| 5 | D | Se Zoé | 5 | M | S. Abel | 5 | S | S. Bertin |
| 6 | L | Se Lucie | 6 | J | Transfigurati. | 6 | D | Se Reine PL |
| 7 | M | S. Elie | 7 | V | S. Gaëtan PL | 7 | L | S. Cloud |
| 8 | M | Se Virginie | 8 | S | Se Léonide | 8 | M | Nativité |
| 9 | J | Se Blanche PL | 9 | D | S. Amour | 9 | M | S. Omer |
| 10 | V | Se Félicité | 10 | L | S. Laurent | 10 | J | Se Pulchérie |
| 11 | S | S. Cyprien | 11 | M | Se Suzanne | 11 | V | S. Hyacinthe |
| 12 | D | S. Frédéric | 12 | M | Se Claire | 12 | S | S. Léonce |
| 13 | L | S. Eugène | 13 | J | S. Hippolyte | 13 | D | S. Maurille |
| 14 | M | *Fête Nation.* | 14 | V | S. Eusèbe | 14 | L | Exalt. Se Cr. DQ |
| 15 | M | S. Henri | 15 | S | *Assomption* DQ | 15 | M | S. Valère |
| 16 | J | Se Estelle | 16 | D | S. Roch | 16 | M | S. Corneille |
| 17 | V | S. Alexis DQ | 17 | L | S. Mammès | 17 | J | S. Lambert |
| 18 | S | S. Camille | 18 | M | Se Hélène | 18 | V | Se Sophie |
| 19 | D | S. Vinc. de P. | 19 | M | S. Louis, év. | 19 | S | S. Gustave |
| 20 | L | Se Margueite | 20 | J | S. Bernard | 20 | D | S. Eustach. NL |
| 21 | M | S. Victor | 21 | V | Se Jeanne | 21 | L | S. Mathieu |
| 22 | M | Se Marie-M. | 22 | S | S. Sympho. NL | 22 | M | S. Maurice |
| 23 | J | S. Appolline | 23 | D | Se Caroline | 23 | M | Se Céleste |
| 24 | V | Se Christi. NL | 24 | L | S. Barthélémy | 24 | J | S. Andoche |
| 25 | S | S. Christophe | 25 | M | S. Louis, r. | 25 | V | S. Firmin |
| 26 | D | Se Anne | 26 | M | Se Rose | 26 | S | Se Justine |
| 27 | L | Se Nathalie | 27 | J | S. Armand | 27 | D | S. Côme |
| 28 | M | S. Samson | 28 | V | S. Auguste | 28 | L | Se Clémenti PQ |
| 29 | M | Se Marthe | 29 | S | D. de S. J. B. PQ | 29 | M | S. Michel |
| 30 | J | S. Ignace PQ | 30 | D | S. Fiacre | 30 | M | S. Jérôme |
| 31 | V | S. Germ. l'A. | 31 | L | S. Raymond | | | |

**NOTES**

# 4e TRIMESTRE

| OCTOBRE 6 h. 0 à 5 h. 38 | | | NOVEMBRE 6 h. 48 à 4 h. 39 | | | DÉCEMBR.-1903 7 h. 34 à 4 h. 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | J | S. Rémi | 1 | D | *Toussaint* | 1 | M | S. Eloi |
| 2 | V | SS. Anges | 2 | L | Trépassés | 2 | M | Se Aurélie |
| 3 | S | Se Fauste | 3 | M | S. Hubert | 3 | J | S. Franç. Xav. |
| 4 | D | S. F. d'As. | 4 | M | S. Charles PL | 4 | V | Se Barbe PL |
| 5 | L | S. Constant | 5 | J | S. Théotime | 5 | S | S. Sabas |
| 6 | M | S. Bruno PL | 6 | V | S. Léonard | 6 | D | S. Nicolas |
| 7 | M | S. Auguste | 7 | S | S. Ernest | 7 | L | S. Ambroise |
| 8 | J | Se Fanny | 8 | D | Ses Reliques | 8 | M | Immac. conc. |
| 9 | V | S. Denis,é. | 9 | L | S. Mathurin | 9 | M | Se Léocadie |
| 10 | S | Se Lydie | 10 | M | S. Juste | 10 | J | Se Annette DQ |
| 11 | D | Se Clémence | 11 | M | S. Martin DQ | 11 | V | S. Daniel |
| 12 | L | S. Séraphin | 12 | J | S. René | 12 | S | Se Constance |
| 13 | M | S. Edouard DQ | 13 | V | S. Brice | 13 | D | Se Luce |
| 14 | M | Se Calixte | 14 | S | Se Philomène | 14 | L | S. Nicaise |
| 15 | J | Se Thérèse | 15 | D | Se Eugénie | 15 | M | S. Mesmin |
| 16 | V | S. Gal, év. | 16 | L | S. Edme | 16 | M | Se Adélaïde |
| 17 | S | S. Florent | 17 | M | S. Agnan | 17 | J | S. Lazare |
| 18 | D | S. Luc , év. | 18 | M | Se Claudine NL | 18 | V | S. Gatien NL |
| 19 | L | S. Savinien | 19 | J | Se Elisabeth | 19 | S | S. Darius |
| 20 | M | S. Caprais NL | 20 | V | S. Edmond | 20 | D | Se Philogone |
| 21 | M | Se Céline | 21 | S | Présent. V. | 21 | L | S. Thomas |
| 22 | J | S. Mellon | 22 | D | Se Cécile | 22 | M | S. Honorat |
| 23 | V | S. Hilarion | 23 | L | S. Clément | 23 | M | Se Victoire |
| 24 | S | S. Magloire | 24 | M | Se Flore | 24 | J | Se Emilienne |
| 25 | D | S. Crépin | 25 | M | Se Catherine | 25 | V | *Noël* |
| 26 | L | S. Rustique | 26 | J | Se Delphin. PQ | 26 | S | S. Etienne PQ |
| 27 | M | S. Simon PQ | 27 | V | S. Séverin | 27 | D | S. Jean, évêq. |
| 28 | M | S. Alfred | 28 | S | S. Sosthène | 28 | L | Ss Innocents |
| 29 | J | S. Narcisse | 29 | D | *Avent* | 29 | M | S. David |
| 30 | V | S. Lucain | 30 | L | S. André | 30 | M | S. Sabin |
| 31 | S | S. Quentin | | | P. GILLARD | 31 | J | S. Sylvestre |

**NOTES**

# TABLES USUELLES

## Facteurs usuels dans les calculs.

Dans un cercle de rayon 1 ; on a :
Demi-circonférence $= \pi = 3,14159\ 26535\ 89793\ 23846$.
Log. $\pi = 0,49714\ 98726\ 94133$ log. hyp. $\pi = 1,14472\ 98858$.

| | NOMBRES. | LOGARITHMES. | RÉCIPROQUES. |
|---|---|---|---|
| $\sqrt{\pi}$ | 1,772 453 850 | 0,248 574 936 347 | $\frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0,564\ 189\ 58$ |
| $\pi^2$ | 9,869 604 4 | 0,994 299 745 388 | $\frac{1}{\pi^2} = 0,101\ 321\ 18$ |
| $\pi^3$ | 31,006 276 7 | 1,491 449 618 082 | |

| | ARCS en graduation. | NOMBRES. | RÉCIPROQUES. |
|---|---|---|---|
| $4\pi$ | | 12,566 370 614 359 | |
| $2\pi$ | 360° | 6,283 185 307 180 | |
| $\pi$ | 180° | 3,141 592 653 590 | $\frac{1}{\pi} = 0,318\ 309\ 886\ 184$ |
| $\frac{\pi}{2}$ | 90° | 1,570 796 326 795 | $\frac{2}{\pi} = 0,636\ 619\ 772\ 368$ |
| $\frac{\pi}{4}$ | 45° | 0,785 398 163 397 | $\frac{4}{\pi} = 1,273\ 239\ 544\ 735$ |
| $\frac{\pi}{6}$ | 30° | 0,523 598 775 598 | $\frac{6}{\pi} = 1,909\ 859$ |
| $\frac{\pi}{8}$ | 22° 30′ | 0,392 699 081 699 | $\frac{8}{\pi} = 2,546\ 478$ |
| $\frac{\pi}{12}$ | 15° | 0,261 799 387 799 | $\frac{12}{\pi} = 3,819\ 718$ |

Longueur de arc de 1 degré $= \frac{\pi}{180} = 0{,}017453293$

id. id. 1 minute $= \frac{\pi}{10800} = 0{,}000\ 290\ 888$

id. id. 1 seconde $= \frac{\pi}{648000} = 0{,}000\ 004\ 848.$

L'arc d'une longueur égale au rayon a pour graduation

en degrés $57^{\circ},295\ 77\ 9513\ 08 = \frac{180^{\circ}}{\pi}$

en minutes $3437',746\ 770\ 784 = \frac{10800'}{\pi}$

en secondes $206\ 264'',806\ 247\ 09 = \frac{648000''}{\pi}$

ou bien $57^{\circ}.17'.44''.48'''.22^{\text{IV}}.29^{\text{V}}.21^{\text{VI}}\ldots$

son sinus $= 0.84\ 147\ 098\ 480\ 514$

son cosinus $= 0.54\ 030\ 230\ 584\ 341$

---

EXPRESSIONS RELATIVES A LA VALEUR DE $g$.

$g$ = accélération d'un corps qui tombe à Paris dans le vide.

| | NOMBRES | LOGARITHMES. | | NOMBRES | LOGARITHMES. |
|---|---|---|---|---|---|
| $g$ | $9^{m},808\ 96$ | $0,991\ 615\ 9$ | $\frac{g}{2}$ | $4^{m},904\ 48$ | $0,690\ 585\ 9$ |
| $2g$ | $19^{m},617\ 92$ | $1,292\ 645\ 9$ | $g^2$ | $96,212\ 50$ | $1,983\ 231\ 8$ |
| $\frac{1}{\sqrt{g}}$ | $0,319\ 29$ | $\bar{1},504\ 192\ 1$ | $4g^2$ | $384,850\ 24$ | $2,585\ 291\ 8$ |
| $\frac{1}{g}$ | $0,101\ 94$ | $\bar{1},008\ 384\ 1$ | $\sqrt{2g}$ | $4,429$ | $0,646\ 322\ 9$ |
| $\frac{1}{g^2}$ | $0,010\ 39$ | $\bar{2},016\ 768\ 2$ | $\frac{1}{2g}$ | $0,050\ 97$ | $2,707\ 354\ 1$ |

Voir : *Formules de la chute des corps.*

---

Longueur du *pendule simple* qui, dans le vide et en moyenne, bat la seconde à Paris : $l = 0^{m}.993855$.

---

| FRACTIONS | | RACINES CORRESPONDANTES | |
|---|---|---|---|
| ordinaires. | decimales. | carrées. | cubiques. |
| 1/4 | 0,25 | 0,500 | 0,630 |
| 1/2 | 0,50 | 0,707 | 0,793 |
| 3/4 | 0,75 | 0,866 | 0,908 |
| 1/5 | 0,20 | 0,448 | 0,585 |
| 1/3 | 0,33 | 0,577 | 0,693 |
| 2/3 | 0,66 | 0,813 | 0,871 |
| 3/2 | 1,50 | 1,224 | 1,140 |

# Logarithmes des nombres compris entre 1 et 1000

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Dif. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 00000 | 30103 | 47712 | 60206 | 69897 | 77815 | 84510 | 90309 | 95424 | |
| **10** | 00000 | 00432 | 00860 | 01284 | 01703 | 02119 | 02531 | 02938 | 03342 | 03743 | 415 |
| 11 | 04139 | 04532 | 04921 | 05308 | 05690 | 06070 | 06446 | 06819 | 07188 | 07555 | 370 |
| 12 | 07918 | 08279 | 08636 | 08991 | 09342 | 09691 | 10037 | 10380 | 10721 | 11059 | 349 |
| 13 | 11394 | 11727 | 12057 | 12385 | 12710 | 13033 | 13354 | 13672 | 13988 | 14301 | 323 |
| 14 | 14613 | 14922 | 15229 | 15534 | 15836 | 16137 | 16435 | 16732 | 17026 | 17319 | 300 |
| **15** | 17609 | 17898 | 18184 | 18469 | 18752 | 19033 | 19312 | 19590 | 19866 | 20140 | 281 |
| 16 | 20412 | 20683 | 20952 | 21219 | 21484 | 21748 | 22011 | 22272 | 22531 | 22789 | 264 |
| 17 | 23045 | 23300 | 23553 | 23805 | 24055 | 24304 | 24551 | 24797 | 25042 | 25285 | 249 |
| 18 | 25527 | 25768 | 26007 | 26245 | 26482 | 26717 | 26951 | 27184 | 27416 | 27646 | 236 |
| 19 | 27875 | 28103 | 28330 | 28556 | 28780 | 29003 | 29226 | 29447 | 29667 | 29885 | 223 |
| **20** | 30103 | 30320 | 30535 | 30750 | 30963 | 31175 | 31387 | 31597 | 31806 | 32015 | 212 |
| 21 | 32222 | 32428 | 32634 | 32838 | 33041 | 33244 | 33445 | 33646 | 33846 | 34044 | 202 |
| 22 | 34242 | 34439 | 34635 | 34830 | 35025 | 35218 | 35411 | 35603 | 35793 | 35984 | 194 |
| 23 | 36173 | 36361 | 36549 | 36736 | 36922 | 37107 | 37291 | 37475 | 37658 | 37840 | 185 |
| 24 | 38021 | 38202 | 38382 | 38561 | 38739 | 38917 | 39094 | 39270 | 39445 | 39620 | 177 |
| **25** | 39794 | 39967 | 40140 | 40312 | 40483 | 40654 | 40824 | 40993 | 41162 | 41330 | 171 |
| 26 | 41497 | 41664 | 41830 | 41996 | 42160 | 42325 | 42488 | 42651 | 42813 | 42975 | 164 |
| 27 | 43136 | 43297 | 43457 | 43616 | 43775 | 43933 | 44091 | 44248 | 44404 | 44560 | 158 |
| 28 | 44716 | 44871 | 45025 | 45179 | 45332 | 45484 | 45637 | 45788 | 45939 | 46090 | 153 |
| 29 | 46240 | 46389 | 46538 | 46687 | 46835 | 46982 | 47129 | 47276 | 47422 | 47567 | 148 |
| **30** | 47712 | 47857 | 48001 | 48144 | 48287 | 48430 | 48572 | 48714 | 48855 | 48996 | 143 |
| 31 | 49136 | 49276 | 49415 | 49554 | 49693 | 49831 | 49969 | 50106 | 50243 | 50379 | 138 |
| 32 | 50515 | 50651 | 50786 | 50920 | 51055 | 51188 | 51322 | 51455 | 51587 | 51720 | 134 |
| 33 | 51851 | 51983 | 52114 | 52244 | 52375 | 52504 | 52634 | 52763 | 52892 | 53020 | 130 |
| 34 | 53148 | 53275 | 53403 | 53529 | 53656 | 53782 | 53908 | 54033 | 54158 | 54283 | 126 |
| **35** | 54407 | 54531 | 54654 | 54777 | 54900 | 55023 | 55145 | 55267 | 55388 | 55509 | 122 |
| 36 | 55630 | 55751 | 55871 | 55991 | 56110 | 56229 | 56348 | 56467 | 56585 | 56703 | 119 |
| 37 | 56820 | 56937 | 57054 | 57171 | 57287 | 57403 | 57519 | 57634 | 57749 | 57864 | 116 |
| 38 | 57978 | 58092 | 58206 | 58320 | 58433 | 58546 | 58659 | 58771 | 58883 | 58995 | 113 |
| 39 | 59106 | 59218 | 59329 | 59439 | 59550 | 59660 | 59770 | 59879 | 59988 | 60097 | 110 |
| **40** | 60206 | 60314 | 60423 | 60531 | 60638 | 60746 | 60853 | 60959 | 61066 | 61172 | 107 |
| 41 | 61278 | 61384 | 61490 | 61595 | 61700 | 61805 | 61909 | 62014 | 62118 | 62221 | 104 |
| 42 | 62325 | 62428 | 62531 | 62634 | 62737 | 62839 | 62941 | 63043 | 63144 | 63246 | 102 |
| 43 | 63347 | 63448 | 63548 | 63649 | 63749 | 63849 | 63949 | 64048 | 64147 | 64246 | 99 |
| 44 | 64345 | 64444 | 64542 | 60640 | 64738 | 64836 | 64933 | 65031 | 65128 | 65225 | 98 |
| **45** | 65321 | 65418 | 65514 | 65610 | 65706 | 65801 | 65896 | 65992 | 66087 | 66181 | 96 |
| 46 | 66276 | 66370 | 66464 | 66558 | 66652 | 66745 | 66839 | 66932 | 67025 | 67117 | 94 |
| 47 | 67210 | 67302 | 67394 | 67486 | 67578 | 67669 | 67761 | 67852 | 67943 | 68034 | 92 |
| 48 | 68124 | 68215 | 68305 | 68395 | 68485 | 68574 | 68664 | 68753 | 68842 | 68931 | 90 |
| 49 | 69020 | 69108 | 69197 | 69285 | 69373 | 69461 | 69548 | 69636 | 69723 | 69810 | 88 |
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Dif. |

| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Dif. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **50** | 69897 | 69984 | 70070 | 70157 | 70243 | 70329 | 70415 | 70501 | 70586 | 70672 | 86 |
| 51 | 70757 | 70842 | 70927 | 71012 | 71096 | 71181 | 71265 | 71349 | 71433 | 71517 | 84 |
| 52 | 71600 | 71684 | 71767 | 71850 | 71933 | 72016 | 72099 | 72181 | 72263 | 72346 | 82 |
| 53 | 72428 | 72509 | 72591 | 72672 | 72754 | 72835 | 72916 | 72997 | 73078 | 73159 | 81 |
| 54 | 73239 | 73320 | 73400 | 73480 | 73560 | 73640 | 73719 | 73799 | 73878 | 73957 | 80 |
| **55** | 74036 | 74115 | 74194 | 74273 | 74351 | 74429 | 74507 | 74586 | 74663 | 74741 | 78 |
| 56 | 74819 | 74896 | 74974 | 75051 | 75128 | 75205 | 75282 | 75358 | 75435 | 75511 | 77 |
| 57 | 75587 | 75664 | 75740 | 75815 | 75891 | 75967 | 76042 | 76118 | 76193 | 76268 | 75 |
| 58 | 76343 | 76418 | 76492 | 76567 | 76641 | 76716 | 76790 | 76864 | 76938 | 77012 | 74 |
| 59 | 77085 | 77159 | 77232 | 77305 | 77379 | 77452 | 77525 | 77597 | 77670 | 77743 | 73 |
| **60** | 77815 | 77887 | 77960 | 78032 | 78104 | 78176 | 78247 | 78319 | 78390 | 78662 | 72 |
| 61 | 78533 | 78604 | 74675 | 78746 | 78817 | 78888 | 78958 | 79079 | 79099 | 79169 | 71 |
| 62 | 79239 | 79309 | 79379 | 79449 | 79518 | 79588 | 79657 | 79727 | 79796 | 79865 | 70 |
| 63 | 79934 | 80003 | 80072 | 80140 | 80209 | 80277 | 80346 | 80414 | 80482 | 80550 | 69 |
| 64 | 80618 | 80686 | 80754 | 80821 | 80889 | 80956 | 81023 | 81090 | 81158 | 81224 | 68 |
| **65** | 81291 | 81358 | 81425 | 81491 | 81558 | 81624 | 81690 | 81757 | 81823 | 81889 | 67 |
| 66 | 81954 | 82020 | 82086 | 82151 | 82217 | 82282 | 82347 | 82413 | 82478 | 82543 | 66 |
| 67 | 82607 | 82672 | 82737 | 82802 | 82866 | 82930 | 82995 | 83059 | 83123 | 83187 | 65 |
| 68 | 83251 | 83315 | 83378 | 83442 | 83506 | 83569 | 83632 | 83696 | 83759 | 84822 | 64 |
| 69 | 85885 | 83948 | 84011 | 84073 | 84136 | 84198 | 84261 | 84323 | 84386 | 84448 | 63 |
| **70** | 84510 | 84572 | 84634 | 84696 | 84757 | 84819 | 84880 | 84942 | 85003 | 85065 | 62 |
| 71 | 85126 | 85187 | 85248 | 85309 | 85370 | 85431 | 85491 | 85552 | 85612 | 85673 | 61 |
| 72 | 85733 | 85794 | 85854 | 85914 | 85974 | 86034 | 86094 | 86153 | 86213 | 86273 | 60 |
| 73 | 86332 | 86392 | 86451 | 86510 | 86570 | 86629 | 86688 | 86747 | 86806 | 86864 | 59 |
| 74 | 86923 | 86982 | 87040 | 87099 | 87157 | 87216 | 87274 | 87332 | 87390 | 87448 | 58 |
| **75** | 87506 | 87564 | 87622 | 87679 | 87737 | 87795 | 87852 | 87910 | 87967 | 88024 | 57 |
| 76 | 88081 | 88138 | 88195 | 88252 | 88309 | 88366 | 88423 | 88480 | 88546 | 88593 | 56 |
| 77 | 88649 | 88705 | 88762 | 88818 | 88874 | 88930 | 88986 | 89042 | 89098 | 89154 | 56 |
| 78 | 89209 | 89265 | 89321 | 89376 | 89432 | 89487 | 89542 | 89598 | 89653 | 89708 | 55 |
| 79 | 89763 | 89818 | 89873 | 89927 | 89982 | 90037 | 90091 | 90146 | 90200 | 90255 | 54 |
| **80** | 90309 | 90363 | 90417 | 90472 | 90526 | 90580 | 90634 | 90687 | 90741 | 90795 | 54 |
| 81 | 90849 | 90902 | 90956 | 91009 | 91062 | 91116 | 91169 | 91222 | 91275 | 91328 | 53 |
| 82 | 91381 | 91434 | 91487 | 91540 | 91593 | 91645 | 91698 | 91751 | 91803 | 91855 | 53 |
| 83 | 91908 | 91960 | 92012 | 92065 | 92117 | 92169 | 92221 | 92273 | 92324 | 92376 | 52 |
| 84 | 92428 | 92480 | 92531 | 92583 | 92634 | 92686 | 92737 | 92788 | 92840 | 92891 | 51 |
| **85** | 92942 | 92993 | 93044 | 93095 | 93146 | 93197 | 92347 | 93298 | 93349 | 93399 | 51 |
| 86 | 93450 | 93500 | 93551 | 93601 | 93651 | 93702 | 93752 | 93802 | 93852 | 93902 | 50 |
| 87 | 93952 | 94002 | 94052 | 94101 | 94151 | 94201 | 94250 | 94300 | 94349 | 94399 | 49 |
| 88 | 94448 | 94498 | 94547 | 94596 | 94645 | 94694 | 94743 | 94792 | 94841 | 94890 | 49 |
| 89 | 94939 | 94988 | 95036 | 95085 | 95134 | 94182 | 95231 | 95279 | 95328 | 95376 | 48 |
| **90** | 95424 | 95472 | 95521 | 95569 | 95617 | 95665 | 95713 | 95761 | 95809 | 95856 | 48 |
| 91 | 95904 | 95952 | 95999 | 96047 | 96095 | 96142 | 96190 | 96237 | 96284 | 96332 | 48 |
| 92 | 96379 | 96426 | 96473 | 96520 | 96567 | 96614 | 96661 | 96708 | 96755 | 96802 | 47 |
| 93 | 96848 | 96895 | 96942 | 96988 | 97035 | 97081 | 97128 | 97174 | 97220 | 97267 | 47 |
| 94 | 97313 | 97359 | 97405 | 97451 | 97497 | 97543 | 97589 | 97635 | 97681 | 97772 | 46 |
| **95** | 97772 | 97818 | 97864 | 97909 | 97955 | 98000 | 98046 | 98091 | 98137 | 98182 | 46 |
| 96 | 98227 | 98272 | 98318 | 98363 | 98408 | 98433 | 98498 | 98543 | 98588 | 98632 | 45 |
| 97 | 98677 | 98722 | 98767 | 98811 | 98856 | 98900 | 98945 | 98989 | 99034 | 99078 | 54 |
| 98 | 99123 | 99167 | 99211 | 99255 | 99300 | 99344 | 99388 | 99432 | 99476 | 99520 | 44 |
| 99 | 99564 | 99607 | 99651 | 99695 | 99739 | 99782 | 99826 | 99870 | 99913 | 99957 | 44 |
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Dif. |

## Lignes trigonométriques naturelles dans un cercle de rayon 1.

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° 0′ | 0,000 000 | 0,000 000 | Infinie. | 1,000 000 | 90° 0′ |
| 10′ | 0,002 909 | 0,002 909 | 343,773 71 | 0,999 996 | 50′ |
| 20′ | 0,005 818 | 0,005 818 | 171,885 40 | 0,999 983 | 40′ |
| 30′ | 0,008 727 | 0,008 727 | 114,588 65 | 0,999 962 | 30′ |
| 40′ | 0,011 635 | 0,011 636 | 85,939 791 | 0,999 932 | 20′ |
| 50′ | 0,014 544 | 0,014 545 | 68,750 087 | 0,999 894 | 10′ |
| 1° 0′ | 0,017 452 | 0,017 455 | 57,289 962 | 0,999 848 | 89° 0′ |
| 10′ | 0,020 361 | 0,020 365 | 49,103 881 | 0,999 793 | 50′ |
| 20′ | 0,023 269 | 0,023 275 | 42,964 077 | 0,999 729 | 40′ |
| 30′ | 0,026 177 | 0,026 186 | 38,188 459 | 0,999 657 | 30′ |
| 40′ | 0,029 085 | 0,029 097 | 34,367 771 | 0,999 577 | 20′ |
| 50′ | 0,031 992 | 0,032 009 | 31,241 577 | 0,999 488 | 10′ |
| 2° 0′ | 0,034 899 | 0,034 921 | 28,636 253 | 0,999 391 | 88° 0′ |
| 10′ | 0,037 806 | 0,037 834 | 26,431 600 | 0,999 285 | 50′ |
| 20′ | 0,040 713 | 0,040 747 | 24,541 758 | 0,999 171 | 40′ |
| 30′ | 0,043 619 | 0,043 661 | 22,903 766 | 0,999 048 | 30′ |
| 40′ | 0,046 525 | 0,046 576 | 21,470 401 | 0,998 917 | 20′ |
| 50′ | 0,049 431 | 0,049 491 | 20,205 553 | 0,998 778 | 10′ |
| 3° 0′ | 0,052 336 | 0,052 408 | 19,081 137 | 0,998 630 | 87° 0′ |
| 10′ | 0,055 241 | 0,055 325 | 18,074 977 | 0,998 473 | 50′ |
| 20′ | 0,058 145 | 0,058 243 | 17,169 337 | 0,998 308 | 40′ |
| 30′ | 0,061 049 | 0,061 163 | 16,349 855 | 0,998 135 | 30′ |
| 40′ | 0,063 952 | 0,064 083 | 15,604 784 | 0,997 357 | 20′ |
| 50′ | 0,066 854 | 0,067 004 | 14,924 417 | 0,997 763 | 10′ |
| 4° 0′ | 0,069 756 | 0,069 927 | 14,300 666 | 0,997 564 | 86° 0′ |
| 10′ | 0,072 658 | 0,072 851 | 13,726 738 | 0,997 357 | 50′ |
| 20′ | 0,075 559 | 0,075 776 | 13,196 888 | 0,997 141 | 40′ |
| 30′ | 0,078 459 | 0,078 702 | 12,706 205 | 0,996 917 | 30′ |
| 40′ | 0,081 359 | 0,081 629 | 12,250 505 | 0,996 685 | 20′ |
| 50′ | 0,084 258 | 0,084 558 | 11,826 167 | 0,996 444 | 85° 10′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **85° 0′** | 0,087 156 | 0,087 489 | 11,430 052 | 0,996 195 | **85° 0′** |
| 10′ | 0,090 053 | 0,090 421 | 11,059 431 | 0,995 937 | 50′ |
| 20′ | 0,092 950 | 0,093 354 | 10,711 913 | 0,995 671 | 40′ |
| 30′ | 0,095 846 | 0,096 289 | 10,385 397 | 0,995 396 | 30′ |
| 40 | 0,098 741 | 0,099 226 | 10,078 031 | 0,995 113 | 20′ |
| 50′ | 0,101 635 | 0,102 164 | 9,788 1732 | 0,994 822 | 10′ |
| **6° 0′** | 0,104 528 | 0,105 104 | 9,514 3645 | 0,994 522 | **84° 0′** |
| 10′ | 0,107 421 | 0,108 046 | 9,255 3035 | 0,994 214 | 50′ |
| 20′ | 0,110 313 | 0,110 990 | 9,009 8261 | 0,993 897 | 40′ |
| 30′ | 0,113 203 | 0,113 936 | 8,776 8874 | 0,993 572 | 30′ |
| 40′ | 0,116 093 | 0,116 883 | 8,555 5468 | 0,993 238 | 20′ |
| 50′ | 0,118 982 | 0,119 833 | 8,344 9556 | 0,992 896 | 10′ |
| **7° 0′** | 0,121 869 | 0,122 785 | 8,144 3464 | 0,992 546 | **83° 0′** |
| 10′ | 0,124 756 | 0,125 738 | 7,953 0224 | 0,992 187 | 50′ |
| 20′ | 0,127 642 | 0,128 694 | 7,770 3506 | 0,991 820 | 40′ |
| 30′ | 0,130 526 | 0,131 653 | 7,595 7541 | 0,991 445 | 30′ |
| 40′ | 0,133 410 | 0,134 613 | 7,428 7064 | 0,991 061 | 20′ |
| 50′ | 0,136 292 | 0,137 576 | 7,268 7255 | 0,990 669 | 10′ |
| **8° 0′** | 0,139 173 | 0,140 541 | 7,115 3697 | 0,990 268 | **82° 0′** |
| 10′ | 0,142 053 | 0,143 508 | 6,968 2335 | 0,989 859 | 50′ |
| 20′ | 0,144 932 | 0,146 478 | 6,826 9437 | 0,989 442 | 40′ |
| 30′ | 0,147 809 | 0,149 451 | 6,691 1562 | 0,989 016 | 30′ |
| 40′ | 0,150 686 | 0,152 426 | 6,560 5538 | 0,988 582 | 20′ |
| 50′ | 0,153 561 | 0,155 404 | 6,434 8428 | 0,988 139 | 10′ |
| **9° 0′** | 0,156 434 | 0,158 384 | 6,313 7515 | 0,987 688 | **81° 0′** |
| 10′ | 0,159 307 | 0,161 368 | 6,197 0279 | 0,987 229 | 50′ |
| 20′ | 0,162 178 | 0,164 354 | 6,084 4381 | 0,986 762 | 40′ |
| 30′ | 0,165 048 | 0,167 343 | 5,975 7644 | 0,986 286 | 30′ |
| 40′ | 0,167 916 | 0,170 334 | 5,870 8042 | 0,985 801 | 20′ |
| 50′ | 0,170 783 | 0,173 329 | 5,769 3688 | 0,985 309 | 10′ |
| **10° 0′** | 0,173 648 | 0,176 327 | 5,671 2818 | 0,984 808 | **80° 0′** |
| 10′ | 0,176 512 | 0,179 328 | 5,576 3786 | 0,984 298 | 50′ |
| 20′ | 0,179 375 | 0,182 332 | 5,484 5052 | 0,983 781 | **79°40′** |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **10**°30′ | 0,182 236 | 0,185 339 | 5,395 5172 | 0,983 255 | **79**°30′ |
| 40′ | 0,185 095 | 0,188 359 | 5,309 2793 | 0,982 721 | 20′ |
| 50′ | 0,187 953 | 0,191 363 | 5,225 6647 | 0,982 178 | 10′ |
| **11**° 0′ | 0,190 809 | 0,194 380 | 5,144 5540 | 0,981 627 | **79**° 0′ |
| 10′ | 0,193 664 | 0,197 401 | 5,065 8352 | 0,981 068 | 50′ |
| 20′ | 0,196 517 | 0,200 425 | 4,989 4027 | 0,980 500 | 40′ |
| 30′ | 0,199 368 | 0,203 452 | 4,915 1570 | 0,979 925 | 30′ |
| 40′ | 0,202 218 | 0,206 483 | 4,843 0045 | 0,979 341 | 20′ |
| 50′ | 0,205 065 | 0,209 518 | 4,772 8568 | 0,978 748 | 10′ |
| **12**° 0′ | 0,207 912 | 0,212 557 | 4,704 6301 | 0,978 148 | **78**° 0′ |
| 10′ | 0,210 756 | 0,215 599 | 4,638 2457 | 0,977 539 | 50′ |
| 20′ | 0,213 599 | 0,218 645 | 4,573 6287 | 0,976 921 | 40′ |
| 30′ | 0,216 440 | 0,221 695 | 4,510 7085 | 0,976 296 | 30′ |
| 40′ | 0,219 279 | 0,224 748 | 4,449 4181 | 0,975 662 | 20′ |
| 50′ | 0,222 116 | 0,227 806 | 4,389 6940 | 0,975 020 | 10′ |
| **13**° 0′ | 0,224 951 | 0,230 868 | 4,331 4759 | 0,974 370 | **77**° 0′ |
| 10′ | 0,227 784 | 0,233 934 | 4,274 7066 | 0,973 712 | 50′ |
| 20′ | 0,230 616 | 0,237 004 | 4,219 3318 | 0,973 045 | 40′ |
| 30′ | 0,233 445 | 0,240 079 | 4,165 2998 | 0,972 370 | 30′ |
| 40′ | 0,236 273 | 0,243 158 | 4,112 5614 | 0,971 687 | 20′ |
| 50′ | 0,239 098 | 0,246 241 | 4,061 0700 | 0,970 995 | 10′ |
| **14**° 0′ | 0,241 922 | 0,249 328 | 4,010 7809 | 0,970 296 | **76**° 0′ |
| 10′ | 0,244 743 | 0,252 420 | 3,961 6518 | 0,969 588 | 50′ |
| 20′ | 0,247 563 | 0,255 517 | 3,913 6420 | 0,968 872 | 40′ |
| 30′ | 0,250 380 | 0,258 618 | 3,866 7131 | 0,968 148 | 30′ |
| 40′ | 0,253 195 | 0,261 723 | 3,820 8281 | 0,967 415 | 20′ |
| 50′ | 0,256 008 | 0,264 834 | 3,775 9519 | 0,966 675 | 10′ |
| **15**° 0′ | 0,258 819 | 0,267 949 | 3,732 0508 | 0,965 926 | **75**° 0′ |
| 10′ | 0,261 628 | 0,271 069 | 3,689 0927 | 0,965 169 | 50′ |
| 20′ | 0,264 434 | 0,274 195 | 3,647 0467 | 0,964 404 | 40′ |
| 30′ | 0,267 238 | 0,277 325 | 3,605 8835 | 0,963 630 | 30′ |
| 40′ | 0,270 040 | 0,280 460 | 3,565 5749 | 0,962 849 | 20′ |
| 50′ | 0,272 840 | 0,283 600 | 3,526 0938 | 0,962 059 | **74**°10′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **16°** 0′ | 0,275 637 | 0,286 745 | 3,487 4144 | 0,961 262 | **74°** 0′ |
| 10′ | 0,278 432 | 0,289 896 | 3,449 5120 | 0,960 456 | 50′ |
| 20′ | 0,281 225 | 0,293 052 | 3,412 3626 | 0,959 642 | 40′ |
| 30′ | 0,284 015 | 0,296 214 | 3,375 9434 | 0,958 820 | 30′ |
| 40′ | 0,286 803 | 0,299 380 | 3,340 2326 | 0,957 990 | 20′ |
| 50′ | 0,289 589 | 0,302 553 | 3,305 2091 | 0,957 151 | 10′ |
| **17°** 0′ | 0,292 372 | 0,305 731 | 3,270 8526 | 0,956 305 | **73°** 0′ |
| 10′ | 0,295 152 | 0,308 914 | 3,237 1438 | 0,955 450 | 50′ |
| 20′ | 0,297 930 | 0,312 104 | 3,204 0638 | 0,954 588 | 40′ |
| 30′ | 0,300 706 | 0,315 299 | 3,171 5948 | 0,953 717 | 30′ |
| 40′ | 0,303 479 | 0,318 500 | 3,139 7194 | 0,952 838 | 20′ |
| 50′ | 0,306 249 | 0,321 707 | 3,108 4210 | 0,951 951 | 10′ |
| **18°** 0′ | 0,309 017 | 0,324 920 | 3,077 6835 | 0,951 057 | **72°** 0′ |
| 10′ | 0,311 782 | 0,328 139 | 3,047 4915 | 0,950 154 | 50′ |
| 20′ | 0,314 545 | 0,331 364 | 3,017 8301 | 0,949 243 | 40′ |
| 30′ | 0,317 305 | 0,334 595 | 2,988 6850 | 0,948 324 | 30′ |
| 40′ | 0,320 062 | 0,337 833 | 2,960 0422 | 0,947 397 | 20′ |
| 50′ | 0,322 816 | 0,341 077 | 2,931 8885 | 0,946 462 | 10′ |
| **19°** 0′ | 0,325 568 | 0,344 328 | 2,904 2109 | 0,945 519 | **71°** 0′ |
| 10′ | 0,328 317 | 0,347 585 | 2,876 9970 | 0,944 568 | 50′ |
| 20′ | 0,331 063 | 0,350 848 | 2,850 2349 | 0,943 609 | 40′ |
| 30′ | 0,333 807 | 0,354 119 | 2,823 9129 | 0,942 641 | 30′ |
| 40′ | 0,336 547 | 0,357 396 | 2,798 0198 | 0,941 666 | 20′ |
| 50′ | 0,339 285 | 0,360 680 | 2,772 5448 | 0,940 684 | 10′ |
| **20°** 0′ | 0,342 020 | 0,363 970 | 2,747 4774 | 0,939 693 | **70°** 0′ |
| 10′ | 0,344 752 | 0,367 268 | 2,722 8076 | 0,938 694 | 50′ |
| 20′ | 0,347 481 | 0,370 573 | 2,698 5254 | 0,937 687 | 40′ |
| 30′ | 0,350 207 | 0,373 885 | 2,674 6215 | 0,936 672 | 30′ |
| 40′ | 0,352 931 | 0,377 204 | 2,651 0867 | 0,935 650 | 20′ |
| 50′ | 0,355 651 | 0,380 530 | 2,627 9121 | 0,934 619 | 10′ |
| **21°** 0′ | 0,358 368 | 0,383 864 | 2,605 0891 | 0,933 580 | **69°** 0′ |
| 10′ | 0,361 082 | 0,387 205 | 2,582 6094 | 0,932 534 | 50′ |
| 20′ | 0,363 793 | 0,390 554 | 2,560 4649 | 0,931 480 | **68°** 40′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **21**° 30′ | 0,366 501 | 0,393 911 | 2,538 6479 | 0,930 418 | **68**° 30′ |
| 40′ | 0,369 206 | 0,397 275 | 2,517 1507 | 0,929 348 | 20′ |
| 50′ | 0,371 908 | 0,400 647 | 2,495 9661 | 0,928 270 | 10′ |
| **22**° 0′ | 0,374 607 | 0,404 026 | 2,475 0869 | 0,927 184 | **68**° 0′ |
| 10′ | 0,377 302 | 0,407 414 | 2,454 5061 | 0,926 090 | 50′ |
| 20′ | 0,379 994 | 0,410 810 | 2,434 2172 | 0,924 989 | 40′ |
| 30′ | 0,382 683 | 0,414 214 | 2,414 2136 | 0,923 880 | 30′ |
| 40′ | 0,385 369 | 0,417 626 | 2,394 4889 | 0,922 762 | 20′ |
| 50′ | 0,388 052 | 0,421 046 | 2,375 0372 | 0,921 638 | 10′ |
| **23**° 0′ | 0,390 731 | 0,424 475 | 2,355 8524 | 0,920 505 | **67**° 0′ |
| 10′ | 0,393 407 | 0,427 912 | 2,336 9287 | 0,919 364 | 50′ |
| 20′ | 0,396 080 | 0,431 358 | 2,318 2606 | 0,918 216 | 40′ |
| 30′ | 0,398 749 | 0,434 812 | 2,299 8425 | 0,917 060 | 30′ |
| 40′ | 0,401 415 | 0,438 276 | 2,281 6693 | 0,915 896 | 20′ |
| 50′ | 0,404 078 | 0,441 748 | 2,263 7357 | 0,914 725 | 10′ |
| **24**° 0′ | 0,406 737 | 0,445 229 | 2,246 0368 | 0,913 545 | **66**° 0′ |
| 10′ | 0,409 392 | 0,448 719 | 2,228 5676 | 0,912 358 | 50′ |
| 20′ | 0,412 045 | 0,452 218 | 2,211 3234 | 0,911 164 | 40′ |
| 30′ | 0,414 693 | 0,455 726 | 2,194 2997 | 0,909 961 | 30′ |
| 40′ | 0,417 338 | 0,459 244 | 2,177 4920 | 0,908 751 | 20′ |
| 50′ | 0,419 980 | 0,462 771 | 2,160 8958 | 0,907 533 | 10′ |
| **25**° 0′ | 0,422 618 | 0,466 308 | 2,144 5069 | 0,906 308 | **65**° 0′ |
| 10′ | 0,425 253 | 0,469 854 | 2,128 3213 | 0,905 075 | 50′ |
| 20′ | 0,427 884 | 0,473 410 | 2,112 3348 | 0,903 834 | 40′ |
| 30′ | 0,430 511 | 0,476 976 | 2,096 5436 | 0,902 585 | 30′ |
| 40′ | 0,433 135 | 0,480 551 | 2,080 9438 | 0,901 329 | 20′ |
| 50′ | 0,435 755 | 0,484 137 | 2,065 5318 | 0,900 065 | 10′ |
| **26**° 0′ | 0,438 371 | 0,487 733 | 2,050 3038 | 0,898 794 | **64**° 0′ |
| 10′ | 0,440 984 | 0,491 339 | 2,035 2565 | 0,897 515 | 50′ |
| 20′ | 0,443 593 | 0,494 955 | 2,020 3862 | 0,896 229 | 40′ |
| 30′ | 0,446 198 | 0,498 582 | 2,005 6897 | 0,894 934 | 30′ |
| 40′ | 0,448 799 | 0,502 219 | 1,991 1637 | 0,893 633 | 20′ |
| 50′ | 0,451 397 | 0,505 867 | 1,976 8050 | 0,892 323 | **63**° 10′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **27°** 0′ | 0,453 990 | 0,509 525 | 1,962 6105 | 0,891 007 | **63°** 0′ |
| 10′ | 0,456 580 | 0,513 195 | 1,948 5772 | 0,889 682 | 50′ |
| 20′ | 0,459 166 | 0,516 876 | 1,934 7020 | 0,888 350 | 40′ |
| 30′ | 0,461 749 | 0,520 567 | 1,920 9821 | 0,887 011 | 30′ |
| 40′ | 0,464 327 | 0,524 270 | 1,907 4147 | 0,885 664 | 20′ |
| 50′ | 0,466 901 | 0,527 984 | 1,893 9971 | 0,884 309 | 10′ |
| **28°** 0′ | 0,469 472 | 0,531 709 | 1,880 7265 | 0,882 948 | **62°** 0′ |
| 10′ | 0,472 038 | 0,535 547 | 1,867 6003 | 0,881 578 | 50′ |
| 20′ | 0,474 600 | 0,539 195 | 1,854 6159 | 0,880 201 | 40′ |
| 30′ | 0,477 159 | 0,542 956 | 1,841 7409 | 0,878 817 | 30′ |
| 40′ | 0,479 713 | 0,546 728 | 1,829 0628 | 0,877 425 | 20′ |
| 50′ | 0,482 263 | 0,550 515 | 1,816 4892 | 0,876 026 | 10′ |
| **29°** 0′ | 0,484 810 | 0,554 309 | 1,804 0478 | 0,874 620 | **61°** 0′ |
| 10′ | 0,487 352 | 0,558 118 | 1,791 7362 | 0,873 206 | 50′ |
| 20′ | 0,489 890 | 0,561 939 | 1,779 5524 | 0,871 784 | 40′ |
| 30′ | 0,492 424 | 0,565 773 | 176,7 4940 | 0,870 356 | 30′ |
| 40′ | 0,494 953 | 0,569 619 | 175,5 5590 | 0,868 920 | 20′ |
| 50′ | 0,497 479 | 0,573 478 | 174,3 7453 | 0,867 476 | 10′ |
| **30°** 0′ | 0,500 000 | 0,577 350 | 1,732 0508 | 0,866 025 | **60°** 0′ |
| 10′ | 0,502 517 | 0,581 235 | 1,720 4736 | 0,864 567 | 50′ |
| 20′ | 0,505 030 | 0,585 134 | 1,709 0116 | 0,863 102 | 40′ |
| 30′ | 0,507 538 | 0,589 045 | 1,697 6631 | 0,861 629 | 30′ |
| 40′ | 0,510 043 | 0,592 970 | 1,686 4261 | 0,860 149 | 20′ |
| 50′ | 0,512 543 | 0,596 908 | 1,675 2988 | 0,858 662 | 10′ |
| **31°** 0′ | 0,515 038 | 0,600 861 | 1,664 2795 | 0,857 167 | **59°** 0′ |
| 10′ | 0,517 529 | 0,604 827 | 1,653 3663 | 0,855 665 | 50′ |
| 20′ | 0,520 016 | 0,608 807 | 1,642 5576 | 0,854 156 | 40′ |
| 30′ | 0,522 499 | 0,612 801 | 1,631 8517 | 0,852 640 | 30′ |
| 40′ | 0,524 977 | 0,616 809 | 1,621 2469 | 0,851 117 | 20′ |
| 50′ | 0,527 450 | 0,620 832 | 1,610 7417 | 0,849 586 | 10′ |
| **32°** 0′ | 0,529 919 | 0,624 869 | 1,600 3345 | 0,848 048 | **58°** 0′ |
| 10′ | 0,532 384 | 0,628 921 | 1,590 0238 | 0,846 503 | 50′ |
| 20′ | 0,534 844 | 0,632 988 | 1,579 8079 | 0,844 951 | **57°** 40′ |
| | Cosinus. | Cotangentes. | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **32°**30′ | 0,537 300 | 0,637 079 | 1,569 6856 | 0,843 391 | **58°**30′ |
| 40′ | 0,539 751 | 0,641 167 | 1,559 6552 | 0,841 825 | 20′ |
| 50′ | 0,542 197 | 0,645 280 | 1,549 7155 | 0,840 251 | 10′ |
| **33°** 0′ | 0,544 639 | 0,649 408 | 1,539 8650 | 0,838 671 | **57°** 0′ |
| 10′ | 0,547 076 | 0,653 531 | 1,530 1025 | 0,837 083 | 50′ |
| 20′ | 0,549 509 | 0,657 710 | 1,520 4261 | 0,835 488 | 40′ |
| 30′ | 0,551 937 | 0,661 886 | 1,510 8352 | 0,833 886 | 30′ |
| 40′ | 0,554 360 | 0,666 077 | 1,501 3282 | 0,832 277 | 20′ |
| 50′ | 0,556 779 | 0,670 285 | 1,491 9039 | 0,830 661 | 10′ |
| **34°** 0′ | 0,559 193 | 0,674 509 | 1,482 5610 | 0,829 038 | **56°** 0′ |
| 10′ | 0,561 602 | 0,678 749 | 1,473 2983 | 0,827 407 | 50′ |
| 20′ | 0,564 007 | 0,683 007 | 1,464 1147 | 0,825 770 | 40′ |
| 30′ | 0,566 406 | 0,687 281 | 1,455 0090 | 0,824 126 | 30′ |
| 40′ | 0,568 801 | 0,691 573 | 1,445 9801 | 0,822 475 | 20′ |
| 50′ | 0,571 191 | 0,695 881 | 1,437 0268 | 0,820 817 | 10′ |
| **35°** 0′ | 0,573 576 | 0,700 208 | 1,428 1480 | 0,819 152 | **55°** 0′ |
| 10′ | 0,575 957 | 0,704 552 | 1,419 3427 | 0,817 480 | 50′ |
| 20′ | 0,578 332 | 0,708 913 | 1,410 6098 | 0,815 801 | 40′ |
| 30′ | 0,580 703 | 0,713 293 | 1,401 9483 | 0,814 116 | 30′ |
| 40′ | 0,583 069 | 0,717 691 | 1,393 3571 | 0,812 423 | 20′ |
| 50′ | 0,585 429 | 0,722 108 | 1,384 8355 | 0,810 723 | 10′ |
| **36°** 0′ | 0,587 785 | 0,726 543 | 1,376 3810 | 0,809 017 | **54°** 0′ |
| 10′ | 0,590 136 | 0,730 996 | 1,367 9959 | 0,807 304 | 50′ |
| 20′ | 0,592 482 | 0,735 469 | 1,359 6764 | 0,805 584 | 40′ |
| 30′ | 0,594 823 | 0,739 961 | 1,351 4224 | 0,803 857 | 30′ |
| 40′ | 0,597 159 | 0,744 472 | 1,343 2331 | 0,802 123 | 20′ |
| 50′ | 0,599 489 | 0,749 003 | 1,335 1075 | 0,800 383 | 10′ |
| **37°** 0′ | 0,601 815 | 0,753 554 | 1,327 0448 | 0,798 636 | **53°** 0′ |
| 10′ | 0,604 136 | 0,758 125 | 1,319 0441 | 0,796 882 | 50′ |
| 20′ | 0,606 451 | 0,762 716 | 1,311 1046 | 0,795 121 | 40′ |
| 30′ | 0,608 761 | 0,767 627 | 1,303 2254 | 0,793 353 | 30′ |
| 40′ | 0,611 067 | 0,771 959 | 1,295 4057 | 0,791 579 | 20′ |
| 50′ | 0,613 337 | 0,776 612 | 1,287 6447 | 0,789 798 | **52°** 10′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **38°** 0′ | 0,615 661 | 0,781 286 | 1,279 9416 | 0,788 011 | **52°** 0′ |
| 10′ | 0,617 951 | 0,785 981 | 1,272 2957 | 0,786 217 | 50′ |
| 20′ | 0,620 235 | 0,790 698 | 1,264 7062 | 0,784 416 | 40′ |
| 30′ | 0,622 515 | 0,795 436 | 1,257 1723 | 0,782 608 | 30 |
| 40′ | 0,624 789 | 0,800 196 | 1,249 6933 | 0,780 794 | 20′ |
| 50′ | 0,627 057 | 0,804 080 | 1,242 2685 | 0,778 973 | 10′ |
| **39°** 0′ | 0,629 320 | 0,809 784 | 1,234 8972 | 0,777 146 | **51°** 0′ |
| 10′ | 0,631 578 | 0,814 612 | 1,227 5786 | 0,775 312 | 50′ |
| 20′ | 0,633 831 | 0,819 463 | 1,220 3121 | 0,773 472 | 40′ |
| 30′ | 0,636 078 | 0,824 336 | 1,213 0970 | 0,771 625 | 30′ |
| 40′ | 0,638 320 | 0,829 234 | 1,205 9327 | 0,769 771 | 20′ |
| 50′ | 0,640 557 | 0,834 155 | 1,198 8184 | 0,767 911 | 10 |
| **40°** 0′ | 0,642 788 | 0,839 100 | 1,191 7536 | 0,766 044 | **50°** 0′ |
| 10′ | 0,645 013 | 0,844 069 | 1,184 7376 | 0,764 171 | 50′ |
| 20′ | 0,647 233 | 0,849 062 | 1,177 7698 | 0,762 292 | 40′ |
| 30′ | 0,649 448 | 0,854 081 | 1,170 8496 | 0,760 406 | 30′ |
| 40′ | 0,651 657 | 0,859 124 | 1,163 9763 | 0,758 514 | 20′ |
| 50′ | 0,653 861 | 0,864 193 | 1,157 1495 | 0,756 615 | 10′ |
| **41°** 0′ | 0,656 059 | 0,869 287 | 1,150 3684 | 0,754 710 | **49°** 0′ |
| 10′ | 0,658 252 | 0,874 407 | 1,143 6326 | 0,752 798 | 50′ |
| 20′ | 0,660 439 | 0,879 553 | 1,136 9414 | 0,750 880 | 40′ |
| 30′ | 0,662 620 | 0,884 725 | 1,130 2944 | 0,748 956 | 30′ |
| 40′ | 0,664 796 | 0,889 924 | 1,123 6909 | 0.747 025 | 20′ |
| 50′ | 0,666 966 | 0,895 151 | 1,117 1305 | 0,745 088 | 10′ |
| **42°** 0′ | 0,669 131 | 0,900 404 | 1,110 6125 | 0,743 145 | **48°** 0′ |
| 10′ | 0,671 289 | 0,905 685 | 1,104 1365 | 0,741 195 | 50′ |
| 20′ | 0,673 443 | 0,910 994 | 1,097 7020 | 0,739 239 | 40′ |
| 30′ | 0,675 590 | 0,916 331 | 1,091 3085 | 0,737 277 | 30′ |
| 40′ | 0,677 732 | 0,921 697 | 1,084 9554 | 0.735 309 | 20′ |
| 50′ | 0,679 868 | 0,927 091 | 1,078 6423 | 0,733 335 | 10′ |
| **43°** 0′ | 0,681 998 | 0,932 515 | 1,072 3687 | 0.731 354 | **47°** 0′ |
| 10′ | 0,684 123 | 0,937 968 | 1.066 1341 | 0.729 367 | 50′ |
| 20′ | 0,686 242 | 0,943 451 | 1,059 9381 | 0,727 374 | **46°** 40′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

| Graduation. | Sinus. | Tangentes. | Cotangentes. | Cosinus. | Graduation complémentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| **43°**30′ | 0,688 355 | 0,948 965 | 1,053 7801 | 0,725 374 | **46°**30′ |
| 40′ | 0,690 462 | 0,954 508 | 1,047 6578 | 0,723 369 | 20′ |
| 50′ | 0,692 563 | 0,960 083 | 1 041 5767 | 0,721 357 | 10′ |
| **44°** 0′ | 0,694 658 | 0,965 689 | 1,035 5303 | 0,719 340 | **46°** 0′ |
| 10′ | 0,696 748 | 0,971 326 | 1,029 5203 | 0,717 316 | 50′ |
| 20′ | 0,698 832 | 0,976 996 | 1,023 5461 | 0,715 286 | 40′ |
| 30′ | 0,700 909 | 0,982 697 | 1,017 6074 | 0,713 251 | 30′ |
| 40′ | 0,702 981 | 0,988 432 | 1,011 7088 | 0,711 209 | 20′ |
| 50′ | 0,705 047 | 0,944 199 | 1,005 8348 | 0,709 161 | 10′ |
| **45°** 0′ | 0,707 107 | 1,000 000 | 1,000 000 | 0,707 107 | **45°** 0′ |
| | Cosinus. | Cotangentes | Tangentes. | Sinus. | |

## Puissances 4e et 5e des nombres

COMPRIS ENTRE 1 ET 160.

| Nomb. | 4e puissance. | 5e puissance. | Nomb. | 4e puissance. | 5e puissance. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | **40** | 2 560 000 | 102 400 000 |
| **1** | 1 | 1 | 41 | 2 825 761 | 115 856 201 |
| 2 | 16 | 32 | 42 | 3 111 696 | 130 691 232 |
| 3 | 81 | 243 | 43 | 3 418 801 | 147 008 443 |
| 4 | 256 | 1 024 | 44 | 3 748 096 | 164 916 224 |
| **5** | 625 | 3 125 | **45** | 4 100 625 | 184 528 125 |
| 6 | 1 296 | 7 776 | 46 | 4 477 456 | 205 962 976 |
| 7 | 2 401 | 16 807 | 47 | 4 879 681 | 229 345 007 |
| 8 | 4 096 | 32 768 | 48 | 5 308 416 | 254 803 968 |
| 9 | 6 561 | 59 049 | 49 | 5 764 801 | 282 475 249 |
| **10** | 10 000 | 100 000 | **50** | 6 250 000 | 312 500 000 |
| 11 | 14 641 | 161 051 | 51 | 6 765 201 | 345 025 251 |
| 12 | 20 736 | 248 832 | 52 | 7 311 616 | 380 204 032 |
| 13 | 28 561 | 371 293 | 53 | 7 890 481 | 418 195 493 |
| 14 | 38 416 | 537 824 | 54 | 8 503 056 | 459 165 024 |
| **15** | 50 625 | 759 375 | **55** | 9 150 625 | 503 284 375 |
| 16 | 65 536 | 1 048 576 | 56 | 9 834 496 | 550 731 776 |
| 17 | 83 521 | 1 419 857 | 57 | 10 556 001 | 601 692 057 |
| 18 | 104 976 | 1 889 568 | 58 | 11 316 496 | 656 356 768 |
| 19 | 130 321 | 2 476 099 | 59 | 12 117 361 | 714 924 299 |
| **20** | 160 000 | 3 200 000 | **60** | 12 960 000 | 777 600 000 |
| 21 | 194 481 | 4 084 101 | 61 | 13 845 841 | 844 596 301 |
| 22 | 234 256 | 5 153 632 | 62 | 14 776 336 | 916 132 832 |
| 23 | 279 841 | 6 436 343 | 63 | 15 752 961 | 992 436 543 |
| 24 | 331 776 | 7 962 624 | 64 | 16 777 216 | 1 073 741 824 |
| **25** | 390 625 | 9 765 625 | **65** | 17 850 625 | 1 160 290 625 |
| 26 | 456 976 | 11 881 376 | 66 | 18 974 736 | 1 252 332 576 |
| 27 | 531 441 | 14 348 907 | 67 | 20 151 121 | 1 350 125 107 |
| 28 | 614 656 | 17 210 368 | 68 | 21 381 376 | 1 453 933 568 |
| 29 | 707 281 | 20 511 149 | 69 | 22 667 121 | 1 564 031 349 |
| **30** | 810 000 | 24 300 000 | **70** | 24 010 000 | 1 680 700 000 |
| 31 | 923 521 | 28 629 151 | 71 | 25 411 681 | 1 804 229 351 |
| 32 | 1 048 576 | 33 554 432 | 72 | 26 873 856 | 1 934 917 632 |
| 33 | 1 185 921 | 39 135 393 | 73 | 28 398 241 | 2 073 071 593 |
| 34 | 1 336 336 | 45 435 424 | 74 | 29 986 576 | 2 219 006 624 |
| **35** | 1 500 625 | 52 521 875 | **75** | 31 640 625 | 2 373 046 875 |
| 36 | 1 679 616 | 60 466 176 | 76 | 33 362 176 | 2 535 525 376 |
| 37 | 1 874 161 | 69 343 957 | 77 | 35 153 041 | 2 706 784 157 |
| 38 | 2 085 136 | 79 235 168 | 78 | 37 015 056 | 2 887 174 368 |
| 39 | 2 313 441 | 90 224 199 | 79 | 38 950 081 | 3 077 056 399 |

| Nomb. | 4e puissance. | 5e puissance. | Nomb. | 4e puissance. | 5e puissance. |
|---|---|---|---|---|---|
| **80** | 40 960 000 | 3 276 800 000 | **120** | 207 360 000 | 24 883 200 000 |
| 81 | 43 046 721 | 3 486 784 401 | 121 | 214 358 881 | 25 937 424 601 |
| 82 | 45 212 176 | 3 707 398 432 | 122 | 221 533 456 | 27 027 081 632 |
| 83 | 47 458 321 | 3 939 040 643 | 123 | 228 886 641 | 28 153 056 843 |
| 84 | 49 787 136 | 4 182 119 424 | 124 | 236 421 376 | 29 316 250 624 |
| **85** | 52 200 625 | 4 437 053 125 | **125** | 244 140 625 | 30 517 578 125 |
| 86 | 54 700 816 | 4 704 270 176 | 126 | 252 047 376 | 31 757 969 376 |
| 87 | 57 289 761 | 4 984 209 207 | 127 | 260 144 641 | 33 038 369 407 |
| 88 | 59 969 536 | 5 277 319 168 | 128 | 268 435 456 | 34 359 738 368 |
| 89 | 62 742 241 | 5 584 059 449 | 129 | 276 922 881 | 35 723 051 649 |
| **90** | 65 610 000 | 5 904 900 000 | **130** | 285 610 000 | 37 129 300 000 |
| 91 | 68 574 961 | 6 240 321 451 | 131 | 294 499 921 | 38 579 489 651 |
| 92 | 71 639 296 | 6 590 815 232 | 132 | 303 595 776 | 40 074 642 432 |
| 93 | 74 805 201 | 6 956 883 693 | 133 | 312 900 721 | 41 615 795 893 |
| 94 | 78 074 896 | 7 339 040 224 | 134 | 322 417 936 | 43 204 003 424 |
| **95** | 81 450 625 | 7 737 809 375 | **135** | 332 150 625 | 44 840 334 375 |
| 96 | 84 934 656 | 8 153 726 976 | 136 | 342 102 016 | 46 525 874 176 |
| 97 | 88 529 281 | 8 587 340 257 | 137 | 352 275 361 | 48 261 724 457 |
| 98 | 92 236 816 | 9 039 207 968 | 138 | 362 673 936 | 50 049 003 168 |
| 99 | 96 059 601 | 9 509 900 499 | 139 | 373 301 041 | 51 888 844 699 |
| **100** | 100 000 000 | 10 000 000 000 | **140** | 384 160 000 | 53 782 400 000 |
| 101 | 104 060 460 | 10 510 100 501 | 141 | 395 254 161 | 55 730 836 701 |
| 102 | 108 243 216 | 11 040 808 032 | 142 | 406 586 896 | 57 735 339 232 |
| 103 | 112 550 881 | 11 592 740 743 | 143 | 418 161 601 | 59 797 108 943 |
| 104 | 116 985 856 | 12 166 529 024 | 144 | 429 981 696 | 61 917 364 224 |
| **105** | 121 550 625 | 12 762 815 625 | **145** | 442 050 625 | 64 097 340 625 |
| 106 | 126 247 696 | 13 382 255 776 | 146 | 454 371 856 | 66 338 290 976 |
| 107 | 131 079 601 | 14 025 517 307 | 147 | 466 948 881 | 68 641 485 507 |
| 108 | 136 048 896 | 14 693 280 768 | 148 | 479 785 216 | 71 008 211 968 |
| 109 | 141 158 161 | 15 386 239 549 | 149 | 492 884 401 | 73 439 775 749 |
| **110** | 146 410 000 | 16 105 100 000 | **150** | 506 250 000 | 75 937 500 000 |
| 111 | 151 807 041 | 16 850 584 551 | 151 | 519 885 601 | 78 502 725 751 |
| 112 | 157 351 936 | 17 623 416 832 | 152 | 533 794 816 | 81 136 822 032 |
| 113 | 163 047 361 | 18 424 351 793 | 153 | 547 981 281 | 83 841 135 993 |
| 114 | 168 896 016 | 19 254 145 824 | 154 | 562 448 656 | 86 617 093 024 |
| **115** | 174 900 625 | 20 113 571 875 | **155** | 577 200 625 | 89 466 096 875 |
| 116 | 181 063 936 | 21 003 416 576 | 156 | 592 240 896 | 92 389 579 776 |
| 117 | 187 388 721 | 21 924 480 357 | 157 | 607 573 201 | 95 388 992 557 |
| 118 | 193 877 776 | 22 877 577 568 | 158 | 623 201 296 | 98 465 804 768 |
| 119 | 200 533 921 | 23 863 536 599 | 159 | 639 128 961 | 101 621 504 799 |

## Circonférences et cercles.

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | **35** | 109,956 | 9 62,11 29 51 |
| **1** | 3,142 | 0,78 53 98 16 | 36 | 113,097 | 10 17.87 00 20 |
| 2 | 6,283 | 3,14 15 92 65 | 37 | 116,239 | 10 75,21 00 86 |
| 3 | 9,425 | 7,06 85 83 47 | 38 | 119,381 | 11 34,11 49 49 |
| 4 | 12,566 | 12,56 63 70 61 | 39 | 122,522 | 11 94,59 06 07 |
| **5** | 15,708 | 19,63 49 54 09 | **40** | 125,664 | 12 56,63 70 61 |
| 6 | 18,850 | 28,27 43 33 88 | 41 | 128,805 | 13 20,25 43 13 |
| 7 | 21,991 | 38,48 45 10 01 | 42 | 131,947 | 13 85,44 23 60 |
| 8 | 25,133 | 50,26 54 82 46 | 43 | 135,088 | 14 52,20 12 04 |
| 9 | 28,274 | 63,61 72 51 24 | 44 | 138,230 | 15 20,53 08 45 |
| **10** | 31,416 | 78,53 98 16 34 | **45** | 141,372 | 15 90,43 12 81 |
| 11 | 34,558 | 95,03 31 77 77 | 46 | 144,513 | 16 61,90 25 14 |
| 12 | 37,699 | 113,09 73 36 | 47 | 147,655 | 17 34,94 45 44 |
| 13 | 40,841 | 132,73 22 90 | 48 | 150,796 | 18 09,55 73 69 |
| 14 | 43,982 | 153,93 80 40 | 49 | 153,938 | 18 85,74 09 91 |
| **15** | 47,124 | 176,71 45 87 | **50** | 157,080 | 19 63,49 54 09 |
| 16 | 50,265 | 201,06 19 30 | 51 | 160,221 | 20 42,82 06 23 |
| 17 | 53,407 | 226,98 00 69 | 52 | 163,363 | 21 23,71 66 34 |
| 18 | 56,549 | 254,46 90 05 | 53 | 166,504 | 22 06,18 34 41 |
| 19 | 59,690 | 283,52 87 37 | 54 | 169,646 | 22 90,22 10 45 |
| **20** | 62,832 | 314,15 92 65 | **55** | 172,788 | 23 75,82 94 45 |
| 21 | 65,973 | 346,36 05 90 | 56 | 175,929 | 24 63,00 86 41 |
| 22 | 69,115 | 380,13 27 11 | 57 | 179,071 | 25 51,75 86 34 |
| 23 | 72,257 | 415,47 56 29 | 58 | 182,212 | 26 42,07 94 23 |
| 24 | 75,398 | 452,38 93 42 | 59 | 185,354 | 27 33,97 10 08 |
| **25** | 78,540 | 490,87 38 52 | **60** | 188,496 | 28 27,43 33 88 |
| 26 | 81,681 | 530,92 91 59 | 61 | 191,637 | 29 22,46 65 66 |
| 27 | 84,823 | 572,55 52 61 | 62 | 194,779 | 30 19,07 05 49 |
| 28 | 87,965 | 615,75 21 60 | 63 | 197,920 | 31 17,24 53 11 |
| 29 | 91,106 | 660,51 98 56 | 64 | 201,062 | 32 16,99 08 78 |
| **30** | 94,248 | 706,85 83 47 | **65** | 204,204 | 33 18,30 72 41 |
| 31 | 97,389 | 754,76 76 35 | 66 | 207,345 | 34 21,19 44 01 |
| 32 | 100,531 | 804,24 77 19 | 67 | 210,487 | 35 25,65 23 57 |
| 33 | 103,673 | 855,29 86 00 | 68 | 213,628 | 36 31,68 11 09 |
| 34 | 106,814 | 907,92 02 77 | 69 | 216,770 | 37 39,28 06 57 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **70** | 219,911 | 38 48,45 10 01 | **110** | 345,575 | 95 03,31 78 |
| 71 | 223,053 | 39 59,19 21 42 | 111 | 348,717 | 96 76,89 08 |
| 72 | 226,195 | 40 71,50 40 79 | 112 | 351,858 | 98 52,03 46 |
| 73 | 229,336 | 41 85,38 68 13 | 113 | 355,000 | 1 00 28,74 91 |
| 74 | 232,478 | 43 00,84 03 44 | 114 | 358,142 | 1 02 07,03 45 |
| **75** | 235,619 | 44 17,86 46 70 | **115** | 361,283 | 1 03 86,89 07 |
| 76 | 238,761 | 45 36,45 97 93 | 116 | 364,425 | 1 05 68,31 77 |
| 77 | 241,903 | 46 56,62 57 12 | 117 | 367,566 | 1 07 51,31 54 |
| 78 | 245,044 | 47 78,36 24 28 | 118 | 370,708 | 1 09 35,88 40 |
| 79 | 248,186 | 49 01,66 99 40 | 119 | 373,849 | 1 11 22,02 34 |
| **80** | 251,327 | 50 26,54 82 46 | **120** | 376,991 | 1 13 09,73 36 |
| 81 | 254,469 | 51 52,99 73 50 | 121 | 380,133 | 1 14 99,01 45 |
| 82 | 257,611 | 52 81,01 72 51 | 122 | 383,274 | 1 16 89,86 63 |
| 83 | 260,752 | 54 10,60 79 48 | 123 | 386,416 | 1 18 82,28 88 |
| 84 | 263,894 | 55 41,76 94 42 | 124 | 389,557 | 1 20 76,28 21 |
| **85** | 267,035 | 56 74,50 17 32 | **125** | 392,699 | 1 22 71,84 63 |
| 86 | 270,177 | 58 08,80 48 18 | 126 | 395,841 | 1 24 68,98 12 |
| 87 | 273,319 | 59 44,67 87 00 | 127 | 398,982 | 1 26 67,68 69 |
| 88 | 276,460 | 60 82,12 33 79 | 128 | 402,124 | 1 28 67,96 34 |
| 89 | 279,602 | 62 21,13 88 54 | 129 | 405,265 | 1 30 69,81 08 |
| **90** | 282,743 | 63 61,72 51 24 | **130** | 408,407 | 1 32 73,22 90 |
| 91 | 285,885 | 65 03,88 21 91 | 131 | 411,549 | 1 34 78,21 79 |
| 92 | 289,027 | 66 47,61 00 56 | 132 | 414,690 | 1 36 84,77 76 |
| 93 | 292,168 | 67 92,90 87 16 | 133 | 417,832 | 1 38 92,90 81 |
| 94 | 295,310 | 69 39,77 81 73 | 134 | 420,973 | 1 41 62,60 94 |
| **95** | 298,451 | 70 88,21 84 26 | **135** | 424,115 | 1 43 13,88 15 |
| 96 | 301,593 | 72 38,22 94 75 | 136 | 427,257 | 1 45 26,72 44 |
| 97 | 304,734 | 73 89,81 13 21 | 137 | 430,398 | 1 47 41,13 81 |
| 98 | 307,876 | 75 42,96 39 63 | 138 | 433,540 | 1 49 57,12 25 |
| 99 | 311,018 | 76 97,68 74 02 | 139 | 436,681 | 1 51 74,67 78 |
| **100** | 314,159 | 78 53,98 16 34 | **140** | 439,823 | 1 53 93,80 40 |
| 101 | 317,301 | 80 11,84 66 65 | 141 | 442,965 | 1 56 14,50 09 |
| 102 | 320,442 | 81 71,28 24 92 | 142 | 446,106 | 1 58 36,76 85 |
| 103 | 323,584 | 83 32,28 91 15 | 143 | 449,248 | 1 60 60,60 70 |
| 104 | 326,726 | 84 94,86 65 36 | 144 | 452,389 | 1 62 86,01 63 |
| **105** | 329,867 | 86 59,01 47 53 | **145** | 455,531 | 1 65 12,99 63 |
| 106 | 333,009 | 88 24,73 37 64 | 146 | 458,673 | 1 67 41,54 72 |
| 107 | 336,150 | 89 92,02 35 74 | 147 | 461,814 | 1 69 71,66 88 |
| 108 | 339,292 | 91 60,88 41 80 | 148 | 464,956 | 1 72 03,36 13 |
| 109 | 342,434 | 93 31,31 55 85 | 149 | 468,097 | 1 74 36,62 45 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **150** | 471,239 | 1 76 71,45 87 | **190** | 596,903 | 2 83 52,87 37 |
| 151 | 474,381 | 1 79 07,86 35 | 191 | 600,044 | 2 86 52,11 04 |
| 152 | 477,522 | 1 81 45,83 92 | 192 | 603,186 | 2 89 52,91 79 |
| 153 | 480,664 | 1 83 85,38 56 | 193 | 606,327 | 2 92 55,29 62 |
| 154 | 483,805 | 1 86 26,50 28 | 194 | 609,469 | 2 95 59,24 53 |
| **155** | 486,947 | 1 88 69,19 09 | **195** | 612,611 | 2 98 64,76 52 |
| 156 | 490,088 | 1 91 13,44 97 | 196 | 615,752 | 3 01 71,85 58 |
| 157 | 493,230 | 1 93 59,27 93 | 197 | 618,894 | 3 04 80,51 73 |
| 158 | 496,372 | 1 96 06,67 97 | 198 | 622,035 | 3 07 90,74 96 |
| 159 | 499,513 | 1 98 55,65 09 | 199 | 625,177 | 3 11 02,55 27 |
| **160** | 502,655 | 2 01 06,19 30 | **200** | 628,319 | 3 14 15,92 65 |
| 161 | 505,796 | 2 03 58,30 58 | 201 | 631,460 | 3 17 30,87 12 |
| 162 | 508,938 | 2 06 11,98 94 | 202 | 634,602 | 3 20 47,38 67 |
| 163 | 512,080 | 2 08 67,24 38 | 203 | 637,743 | 3 23 65,47 29 |
| 164 | 515,221 | 2 11 24,06 90 | 204 | 640,885 | 3 26 85,13 00 |
| **165** | 518,363 | 2 13 82,46 50 | **205** | 644,026 | 3 30 06,35 78 |
| 166 | 521,504 | 2 16 42,43 18 | 206 | 647,168 | 3 33 29,15 64 |
| 167 | 524,646 | 2 19 03,96 94 | 207 | 650,310 | 3 36 53,52 59 |
| 168 | 527,788 | 2 21 67,07 77 | 208 | 653,451 | 3 39 79,46 61 |
| 169 | 530,929 | 2 24 31,75 68 | 209 | 656,593 | 3 43 06,97 71 |
| **170** | 534,071 | 2 26 98,00 69 | **210** | 659,734 | 3 46 36,05 90 |
| 171 | 537,212 | 2 29 65,82 77 | 211 | 662,876 | 3 49 66,71 16 |
| 172 | 540,354 | 2 32 35,21 93 | 212 | 666,018 | 3 52 98,93 51 |
| 173 | 543,496 | 2 35 06,18 46 | 213 | 669,159 | 3 56 32,72 93 |
| 174 | 546,637 | 2 37 78,71 48 | 214 | 672,301 | 3 59 68,09 43 |
| **175** | 549,779 | 2 40 52,81 87 | **215** | 675,442 | 3 63 05,03 01 |
| 176 | 552,920 | 2 43 28,49 35 | 216 | 678,584 | 3 66 43,61 41 |
| 177 | 556,062 | 2 46 05,79 30 | 217 | 681,726 | 3 69 83,61 41 |
| 178 | 559,203 | 2 48 84,55 54 | 218 | 684,867 | 3 73 25,26 23 |
| 179 | 562,344 | 2 51 64,94 25 | 219 | 688,009 | 3 76 68,48 13 |
| **180** | 565,487 | 2 54 46,90 05 | **220** | 691,150 | 3 80 13,27 11 |
| 181 | 568,628 | 2 57 30,42 92 | 221 | 694,292 | 3 83 59,63 17 |
| 182 | 571,770 | 2 60 15,52 88 | 222 | 697,434 | 3 87 07,56 31 |
| 183 | 574,911 | 2 63 02,19 94 | 223 | 700,575 | 3 90 57,06 53 |
| 184 | 578,053 | 2 65 90,44 02 | 224 | 703,717 | 3 94 08,13 82 |
| **185** | 581,195 | 2 68 80,25 21 | **225** | 706,858 | 3 97 60,78 20 |
| 186 | 584,336 | 2 71 71,63 48 | 226 | 710,000 | 4 01 14,99 66 |
| 187 | 587,478 | 2 74 64,58 83 | 227 | 713,142 | 4 04 70,78 20 |
| 188 | 590,619 | 2 77 59,11 26 | 228 | 716,283 | 4 08 28,13 81 |
| 189 | 593,761 | 2 80 55,20 77 | 229 | 719,425 | 4 11 87,06 51 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **230** | 722,566 | 4 15 47,56 29 | **270** | 848,230 | 5 72 55,52 61 |
| 231 | 725,708 | 4 19 09,63 14 | 271 | 851,372 | 5 76 80,42 65 |
| 232 | 728,850 | 4 22 73,27 08 | 272 | 854,513 | 5 81 06,89 77 |
| 233 | 731,991 | 4 26 38,48 09 | 273 | 857,655 | 5 85 34,93 97 |
| 234 | 735,133 | 4 30 05,26 18 | 274 | 860,796 | 5 89 64,55 25 |
| **235** | 738,274 | 4 33 73,61 36 | **275** | 863,938 | 5 93 95,73 61 |
| 236 | 741,416 | 4 37 43,53 61 | 276 | 867,080 | 5 98 28,49 05 |
| 237 | 744,557 | 4 41 15,02 94 | 277 | 870,221 | 6 02 62,81 57 |
| 238 | 747,699 | 4 44 88,09 36 | 278 | 873,363 | 6 06 98,71 17 |
| 239 | 750,841 | 4 48 62,72 85 | 279 | 876,504 | 6 11 36,17 84 |
| **240** | 753,982 | 4 52 38,93 42 | **280** | 879,646 | 6 15 75,21 60 |
| 241 | 757,124 | 4 56 16,71 07 | 281 | 882,788 | 6 20 15,82 44 |
| 242 | 760,265 | 4 59 96,05 81 | 282 | 885,929 | 6 24 58,00 36 |
| 243 | 763,407 | 4 63 76,97 62 | 233 | 889,071 | 6 29 01,75 35 |
| 244 | 766,549 | 4 67 59,46 51 | 284 | 892,212 | 6 33 47,07 43 |
| **245** | 769,690 | 4 71 43,52 48 | **285** | 895,354 | 6 37 93,96 58 |
| 246 | 772,832 | 4 75 29,15 53 | 286 | 898,496 | 6 42 42,42 82 |
| 247 | 775,973 | 4 79 16,35 65 | 287 | 901,637 | 6 46 92,46 13 |
| 248 | 779,115 | 4 83 05,12 86 | 288 | 904,779 | 6 51 44,06 53 |
| 249 | 782,257 | 4 86 95,47 15 | 289 | 907,920 | 6 55 97,24 00 |
| **250** | 785,398 | 4 90 87,38 52 | **290** | 911,062 | 6 60 51,98 56 |
| 251 | 788,540 | 4 94 80,86 97 | 291 | 914,203 | 6 65 08,30 19 |
| 252 | 791,681 | 4 98 75,92 50 | 292 | 917,345 | 6 69 66,18 90 |
| 253 | 794,823 | 5 02 72,55 11 | 293 | 920,487 | 6 74 25,64 70 |
| 254 | 797,965 | 5 06 70,74 79 | 294 | 923,628 | 6 78 86,67 57 |
| **255** | 801,106 | 5 10 70,51 56 | **295** | 926,770 | 6 83 49,27 52 |
| 256 | 804,248 | 5 14 71,85 40 | 296 | 929,911 | 6 88 13,44 55 |
| 257 | 807,389 | 5 18 74,76 33 | 297 | 933,053 | 6 92 79,18 66 |
| 258 | 810,531 | 5 22 79,24 33 | 298 | 936,195 | 6 97 46,49 85 |
| 259 | 813,673 | 5 26 85,29 42 | 299 | 939,336 | 7 02 15,38 12 |
| **260** | 816,814 | 5 30 92,91 59 | **300** | 942,478 | 7 06 85,83 47 |
| 261 | 819,956 | 5 35 02,10 83 | 301 | 945,619 | 7 11 57,85 90 |
| 262 | 823,097 | 5 39 12,87 15 | 302 | 948,761 | 7 16 31,45 41 |
| 263 | 826,239 | 5 43 25,20 56 | 303 | 951,903 | 7 21 06,62 00 |
| 264 | 829,380 | 5 47 39,11 04 | 304 | 955,044 | 7 25 83,35 66 |
| **265** | 832,522 | 5 51 54,58 60 | **305** | 958,186 | 7 30 61,66 41 |
| 266 | 835,664 | 5 55 71,63 25 | 306 | 961,327 | 7 35 41,54 24 |
| 267 | 838,805 | 5 59 90,24 97 | 307 | 964,469 | 7 40 22,99 15 |
| 268 | 841,947 | 5 64 10,43 77 | 308 | 967,611 | 7 45 06,01 13 |
| 269 | 845,088 | 5 68 32,19 65 | 309 | 970,752 | 7 49 90,60 20 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4} \pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4} \pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **310** | 973,894 | 7 54 76,76 35 | **350** | 1099,557 | 9 62 11,27 51 |
| 311 | 977,035 | 7 59 64,49 58 | 351 | 1102,699 | 9 67 61,83 92 |
| 312 | 980,177 | 7 64 53,79 88 | 352 | 1105,841 | 9 73 18,97 41 |
| 313 | 983,318 | 7 69 44,67 27 | 353 | 1108,982 | 9 78 67,67 98 |
| 314 | 986,460 | 7 74 37,11 73 | 354 | 1112,124 | 9 84 22,95 63 |
| **315** | 989,602 | 7 79 31,13 28 | **355** | 1115,265 | 9 89 79,80 36 |
| 316 | 992,743 | 7 84 26,71 90 | 356 | 1118,407 | 9 95 38,22 17 |
| 317 | 995,884 | 7 89 23,87 60 | 357 | 1121,549 | 10 00 98,21 06 |
| 318 | 999,026 | 7 94 22,60 39 | 358 | 1124,690 | 10 06 59,77 03 |
| 319 | 1002,168 | 7 99 22,90 25 | 359 | 1127,832 | 10 12 22,90 08 |
| **320** | 1005,310 | 8 04 24,77 19 | **360** | 1130,973 | 10 17 87,60 21 |
| 321 | 1008,451 | 8 09 28,21 22 | 361 | 1134,115 | 10 23 53,87 42 |
| 322 | 1011,593 | 8 14 33,22 32 | 362 | 1137,257 | 10 29 21,71 71 |
| 323 | 1014,734 | 8 19 39,80 50 | 363 | 1140,398 | 10 34 91,13 08 |
| 324 | 1017,876 | 8 24 47,95 76 | 364 | 1143,540 | 10 40 62,11 53 |
| **325** | 1021,018 | 8 29 57,68 10 | **365** | 1146,681 | 10 46 34,67 06 |
| 326 | 1024,159 | 8 34 68,97 52 | 366 | 1149,823 | 10 52 08,79 67 |
| 327 | 1027,301 | 8 39 81,84 02 | 367 | 1152,965 | 10 57 84,49 36 |
| 328 | 1030,442 | 8 44 96,27 60 | 368 | 1156,106 | 10 63 61,76 13 |
| 329 | 1033,584 | 8 50 12,28 26 | 369 | 1159,248 | 10 69 40,59 98 |
| **330** | 1036,726 | 8 55 29,86 00 | **370** | 1162,389 | 10 75 21,00 86 |
| 331 | 1039,867 | 8 60 49,00 82 | 371 | 1165,531 | 10 81 02,98 87 |
| 332 | 1043,009 | 8 65 69,72 72 | 372 | 1168,672 | 10 86 86,53 96 |
| 333 | 1046,150 | 8 70 92,01 70 | 373 | 1171,814 | 10 92 71,66 13 |
| 334 | 1049,292 | 8 76 15,87 75 | 374 | 1174,956 | 10 98 58,35 38 |
| **335** | 1052,434 | 8 81 41,30 89 | **375** | 1178,097 | 11 04 46,61 71 |
| 336 | 1055,575 | 8 86 68,31 11 | 376 | 1181,239 | 11 10 36,45 12 |
| 337 | 1058,717 | 8 91 96,88 40 | 377 | 1184,380 | 11 16 27,85 61 |
| 338 | 1061,858 | 8 97 27,02 78 | 378 | 1187,522 | 11 22 20,83 18 |
| 339 | 1065,000 | 9 02 58,74 23 | 379 | 1190,664 | 11 28 15,37 83 |
| **340** | 1068,142 | 9 07 92,02 77 | **380** | 1193,805 | 11 34 11,49 49 |
| 341 | 1071,283 | 9 13 26,88 39 | 381 | 1196,947 | 11 40 09,18 30 |
| 342 | 1074,425 | 9 18 63,31 08 | 382 | 1200,088 | 11 46 08,44 19 |
| 343 | 1077,566 | 9 24 01,30 85 | 383 | 1203,230 | 11 52 09,27 16 |
| 344 | 1080,708 | 9 29 40,87 71 | 384 | 1206,372 | 11 58 11,67 21 |
| **345** | 1083,849 | 9 34 82,01 64 | **385** | 1209,513 | 11 64 15,64 34 |
| 346 | 1086,991 | 9 40 24,72 65 | 386 | 1212,655 | 11 70 21,18 55 |
| 347 | 1090,133 | 9 45 69,00 75 | 387 | 1215,796 | 11 76 28,29 84 |
| 348 | 1093,274 | 9 51 14,85 92 | 388 | 1218,938 | 11 82 36,97 21 |
| 349 | 1096,416 | 9 56 62,28 17 | 389 | 1222,080 | 11 88 47,23 86 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **390** | 1225,221 | 11 94 59.06 | **430** | 1350.885 | 14 52 20.12 |
| 391 | 1228,363 | 12 00 72,46 | 431 | 1354,026 | 14 58 96.35 |
| 392 | 1231,504 | 12 06 87.42 | 432 | 1357.168 | 14 65 74.15 |
| 393 | 1234,646 | 12 13 03.96 | 433 | 1360,310 | 14 72 53,52 |
| 394 | 1237,788 | 12 19 22,07 | 434 | 1363,451 | 14 79 34,46 |
| **395** | 1240,929 | 12 25 41,75 | **435** | 1366.593 | 14 86 16.97 |
| 396 | 1244,071 | 12 31 63.00 | 436 | 1369,734 | 14 93 01,05 |
| 397 | 1247,212 | 12 37 85.82 | 437 | 1372,876 | 14 99 86.70 |
| 398 | 1250,354 | 12 44 10.21 | 438 | 1376,018 | 15 06 73.93 |
| 399 | 1253,495 | 12 50 36,17 | 439 | 1379,159 | 15 13 62,72 |
| **400** | 1256,637 | 12 56 63.71 | **440** | 1382,301 | 15 20 53,08 |
| 401 | 1259,779 | 12 62 92.81 | 441 | 1385,442 | 15 27 45,02 |
| 402 | 1262,920 | 12 69 23.48 | 442 | 1388,584 | 15 34 38,53 |
| 403 | 1266,062 | 12 75 55,73 | 443 | 1391,726 | 15 41 33,60 |
| 404 | 1269,203 | 12 81 89,55 | 444 | 1394,867 | 15 48 30,25 |
| **405** | 1272,345 | 12 88 24,93 | **445** | 1398,009 | 15 55 28.47 |
| 406 | 1275,487 | 12 94 61.89 | 446 | 1401,150 | 15 62 28.26 |
| 407 | 1278,628 | 13 01 00.42 | 447 | 1404,292 | 15 69 29,62 |
| 408 | 1281,770 | 13 07 40.52 | 448 | 1407,434 | 15 76 32,55 |
| 409 | 1284,911 | 13 13 82.19 | 449 | 1410,575 | 15 83 37,06 |
| **410** | 1288,053 | 13 20 25.43 | **450** | 1413,717 | 15 90 43,13 |
| 411 | 1291,195 | 13 26 70.24 | 451 | 1416,858 | 15 97 50.77 |
| 412 | 1294,336 | 13 33 16,63 | 452 | 1420,000 | 16 04 59.99 |
| 413 | 1297,478 | 13 39 64.58 | 453 | 1423,141 | 16 11 70.77 |
| 414 | 1300,619 | 13 46 14,10 | 454 | 1426,283 | 16 18 83.13 |
| **415** | 1303,761 | 13 52 65,20 | **455** | 1429,425 | 16 25 97,06 |
| 416 | 1306,903 | 13 59 17.86 | 456 | 1432,566 | 16 33 12.55 |
| 417 | 1310,044 | 13 65 72.10 | 457 | 1435,708 | 16 40 29.62 |
| 418 | 1313,186 | 13 72 27.94 | 458 | 1438,849 | 16 47 48,26 |
| 419 | 1316,327 | 13 78 85,29 | 459 | 1441,991 | 16 54 68,47 |
| **420** | 1319,469 | 13 85 44.24 | **460** | 1445,133 | 16 61 90.25 |
| 421 | 1322,611 | 13 92 04.76 | 461 | 1448,274 | 16 69 13,60 |
| 422 | 1325,752 | 13 98 66.85 | 462 | 1451,416 | 16 76 38,53 |
| 423 | 1328,894 | 14 05 30.51 | 463 | 1454,557 | 16 83 65.02 |
| 424 | 1332,035 | 14 11 95,74 | 464 | 1457,699 | 16 90 93,08 |
| **425** | 1335,177 | 14 18 62,34 | **465** | 1460,841 | 16 98 22.72 |
| 426 | 1338,318 | 14 25 30.92 | 466 | 1463,982 | 17 05 53.92 |
| 427 | 1341,460 | 14 32 00.86 | 467 | 1467,124 | 17 12 86.70 |
| 428 | 1344,602 | 14 38 72.38 | 468 | 1470,265 | 17 20 21.05 |
| 429 | 1347,743 | 14 45 45,46 | 469 | 1473,407 | 17 27 56,97 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **470** | 1476,549 | 17 34 96.45 | **510** | 1602,212 | 20 42 82,06 |
| 471 | 1479,690 | 17 42 33.54 | 511 | 1605,354 | 20 50 83,95 |
| 472 | 1482,832 | 17 49 74.14 | 512 | 1608,495 | 20 58 87,42 |
| 473 | 1485,973 | 17 57 16,35 | 513 | 1611,637 | 20 66 92,45 |
| 474 | 1489,115 | 17 64 60,12 | 514 | 1614,779 | 20 74 99,05 |
| **475** | 1492,257 | 17 72 05.46 | **515** | 1617,920 | 20 83 07,23 |
| 476 | 1495,398 | 17 79 52.37 | 516 | 1621,062 | 20 91 16,97 |
| 477 | 1498,540 | 17 87 00,86 | 517 | 1624,203 | 20 99 28.29 |
| 478 | 1501,681 | 17 94 50.91 | 518 | 1627,345 | 21 07 41.18 |
| 479 | 1504,823 | 18 02 02,54 | 519 | 1630,487 | 21 15 55,63 |
| **480** | 1507,964 | 18 09 55.74 | **520** | 1633,628 | 21 23 71,66 |
| 481 | 1511,106 | 18 17 10.50 | 521 | 1636,770 | 21 31 89,26 |
| 482 | 1514,248 | 18 24 66,84 | 522 | 1639,911 | 21 40 08.43 |
| 483 | 1517,389 | 18 32 24.75 | 523 | 1643,053 | 21 48 29.17 |
| 484 | 1520,531 | 18 39 84,23 | 524 | 1646,195 | 21 56 51,49 |
| **485** | 1523,672 | 18 47 45,28 | **525** | 1649,336 | 21 64 75,37 |
| 486 | 1526,814 | 18 55 07,90 | 526 | 1652,478 | 21 73 00.82 |
| 487 | 1529,956 | 18 62 72.10 | 527 | 1655,619 | 21 81 27,85 |
| 488 | 1533,097 | 18 70 37.86 | 528 | 1658,761 | 21 89 56.44 |
| 489 | 1536,239 | 18 78 05,19 | 529 | 1661,903 | 21 97 86,61 |
| **490** | 1539,380 | 18 85 74,10 | **530** | 1665,044 | 22 06 18,34 |
| 491 | 1542,522 | 18 93 44,57 | 531 | 1668,186 | 22 14 51,65 |
| 492 | 1545,664 | 19 01 16,62 | 532 | 1671,327 | 22 22 86,53 |
| 493 | 1548,805 | 19 08 90.24 | 533 | 1674,469 | 22 31 22,98 |
| 494 | 1551,947 | 19 16 65,43 | 534 | 1677,610 | 22 39 61,00 |
| **495** | 1555,088 | 19 24 42,19 | **535** | 1680,752 | 22 48 00,59 |
| 496 | 1558,230 | 19 32 20 51 | 536 | 1683,894 | 22 56 41,75 |
| 497 | 1561,372 | 19 40 00.42 | 537 | 1687,035 | 22 64 84,48 |
| 498 | 1564,513 | 19 47 81,89 | 538 | 1690,177 | 22 73 28.77 |
| 499 | 1567,655 | 19 55 64,93 | 539 | 1693,318 | 22 81 74,66 |
| **500** | 1570,796 | 19 63 49.54 | **540** | 1696,460 | 22 90 22,10 |
| 501 | 1573,938 | 19 71 35,72 | 541 | 1699,602 | 22 98 71,12 |
| 502 | 1577,080 | 19 79 23,48 | 542 | 1702,743 | 23 07 21,71 |
| 503 | 1580,221 | 19 87 12,80 | 543 | 1705,885 | 23 15 73.86 |
| 504 | 1583,363 | 19 98 03,70 | 544 | 1709,026 | 23 24 27,59 |
| **505** | 1586,504 | 20 02 96.17 | **545** | 1712,168 | 23 32 82.89 |
| 506 | 1589,646 | 20 10 90,20 | 546 | 1715,310 | 23 41 39,76 |
| 507 | 1592,787 | 20 18 85.84 | 547 | 1718,451 | 23 49 98,20 |
| 508 | 1595,929 | 20 26 82,99 | 548 | 1721,593 | 23 58 58.21 |
| 509 | 1599,071 | 20 34 81,74 | 549 | 1724,734 | 23 67 19,79 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **550** | 1727,876 | 23 75 82,94 | **590** | 1853,540 | 27 33 97.10 |
| 551 | 1731,018 | 23 84 47,67 | 591 | 1856,681 | 27 43 24,66 |
| 552 | 1734,159 | 23 93 13.96 | 592 | 1859,823 | 27 52 53,78 |
| 553 | 1737,301 | 24 01 81.83 | 593 | 1862,964 | 27 61 84,48 |
| 554 | 1740,442 | 24 10 51,26 | 394 | 1866,106 | 27 71 16.75 |
| **555** | 1743,584 | 24 19 22.27 | **595** | 1869.248 | 27 80 50,59 |
| 556 | 1746,726 | 24 27 94,85 | 596 | 1872,389 | 27 89 85,99 |
| 557 | 1749,867 | 24 36 68.99 | 597 | 1875,531 | 27 99 22,97 |
| 558 | 1753,009 | 24 45 44.61 | 598 | 1878,672 | 28 08 61,53 |
| 559 | 1756,150 | 24 54 22,00 | 599 | 1881,814 | 28 18 01,65 |
| **560** | 1759,292 | 24 63 00,86 | **600** | 1884,956 | 28 27 43.34 |
| 561 | 1762,433 | 24 71 81.30 | 601 | 1888,097 | 28 36 86,60 |
| 562 | 1765,575 | 24 80 63.30 | 602 | 1891,239 | 28 46 31,44 |
| 563 | 1768,717 | 24 89 46.87 | 603 | 1894,380 | 28 55 77,84 |
| 564 | 1771,858 | 24 98 32,01 | 604 | 1897,522 | 28 65 25,82 |
| **565** | 1775,000 | 25 07 18,73 | **605** | 1900,664 | 28 74 75,36 |
| 566 | 1778,141 | 25 16 07,01 | 606 | 1903,805 | 28 84 26,48 |
| 567 | 1781,283 | 25 24 96.87 | 607 | 1906,947 | 28 93 79,17 |
| 568 | 1784,425 | 25 33 88.30 | 608 | 1910,088 | 29 03 33,43 |
| 569 | 1787,566 | 25 42 81.30 | 609 | 1913,230 | 29 12 89,26 |
| **570** | 1790.708 | 25 51 75,86 | **610** | 1916,372 | 29 22 46.66 |
| 571 | 1793,849 | 25 60 72,00 | 611 | 1919,513 | 29 32 05,63 |
| 572 | 1796,991 | 25 69 69.71 | 612 | 1922,655 | 29 41 66,17 |
| 573 | 1800,133 | 25 78 68.99 | 613 | 1925,796 | 29 51 28,28 |
| 574 | 1803,274 | 25 87 69.85 | 614 | 1928,938 | 29 60 91,97 |
| **575** | 1806,416 | 25 96 72,27 | **615** | 1932,080 | 29 70 57,22 |
| 576 | 1809,557 | 26 05 76,26 | 616 | 1935,221 | 29 80 24,05 |
| 577 | 1812,699 | 26 14 81.83 | 617 | 1938,363 | 29 89 92.44 |
| 578 | 1815,841 | 26 23 88.96 | 618 | 1941,504 | 29 99 62.41 |
| 579 | 1818,982 | 26 32 97,67 | 619 | 1944,646 | 30 09 33.95 |
| **580** | 1822,124 | 26 42 07,94 | **620** | 1947,787 | 30 19 07,05 |
| 581 | 1825,265 | 26 51 19,79 | 621 | 1950,929 | 30 28 81.73 |
| 582 | 1828,407 | 26 60 33.21 | 622 | 1954,071 | 30 38 57,98 |
| 583 | 1831,549 | 26 69 48.20 | 623 | 1957,212 | 30 48 35,80 |
| 584 | 1834,690 | 26 78 64,76 | 624 | 1960,354 | 30 58 15,20 |
| **585** | 1837,832 | 26 87 82,89 | **625** | 1963,495 | 30 67 96,16 |
| 586 | 1840,973 | 26 97 02,59 | 626 | 1966,637 | 30 77 78,69 |
| 587 | 1844,115 | 27 06 23.86 | 627 | 1969,779 | 30 87 62,79 |
| 588 | 1847,257 | 27 15 46,70 | 628 | 1972,920 | 30 97 48,47 |
| 589 | 1850,398 | 27 24 71,12 | 629 | 1976,062 | 31 07 35,71 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **530** | 1979,203 | 31 17 24,53 | **670** | 2104,867 | 35 25 65,24 |
| 531 | 1982,345 | 31 27 14,92 | 671 | 2108,009 | 35 36 18,45 |
| 532 | 1985,487 | 31 37 06,88 | 672 | 2111,150 | 35 46 73,24 |
| 533 | 1988,628 | 31 47 00,40 | 673 | 2114,292 | 35 57 24,60 |
| 534 | 1991,770 | 31 56 95,50 | 674 | 2117,433 | 35 67 87,54 |
| **535** | 1994,911 | 31 66 92,17 | **675** | 2120,575 | 35 78 47,04 |
| 536 | 1998,053 | 31 76 90,42 | 676 | 2123,717 | 35 89 08,11 |
| 537 | 2001,195 | 31 86 90,23 | 677 | 2126,858 | 35 99 70,75 |
| 538 | 2004,336 | 31 96 91,61 | 678 | 2130,000 | 36 10 34,97 |
| 539 | 2007,478 | 32 06 94,56 | 679 | 2133,141 | 36 21 00,75 |
| **540** | 2010,619 | 32 16 99,09 | **680** | 2136,283 | 36 31 68,11 |
| 541 | 2013,761 | 32 27 05,18 | 681 | 2139,425 | 36 42 37,04 |
| 542 | 2016,902 | 32 37 12,85 | 682 | 2142,566 | 36 53 07,54 |
| 543 | 2020,044 | 32 47 22,09 | 683 | 2145,708 | 36 63 79,60 |
| 544 | 2023,186 | 32 57 32,89 | 684 | 2148,849 | 36 74 53,24 |
| **545** | 2026,327 | 32 67 45,27 | **685** | 2151,991 | 36 85 28,45 |
| 646 | 2029,469 | 32 77 59,22 | 686 | 2155,133 | 36 96 05,23 |
| 647 | 2032,610 | 32 87 74,74 | 687 | 2158,274 | 37 06 83,59 |
| 648 | 2035,752 | 32 97 91,83 | 688 | 2161,416 | 37 17 63,51 |
| 649 | 2038,894 | 33 08 10,49 | 689 | 2164,557 | 37 28 45,00 |
| **650** | 2042,035 | 33 18 30,72 | **690** | 2167,699 | 37 39 28,07 |
| 651 | 2045,177 | 33 28 52,53 | 691 | 2170,841 | 37 50 12,70 |
| 652 | 2048,318 | 33 38 75,90 | 692 | 2173,982 | 37 60 98,91 |
| 653 | 2051,460 | 33 49 00,85 | 693 | 2177,124 | 37 71 86,68 |
| 654 | 2054,602 | 33 59 27,36 | 694 | 2180,265 | 37 82 76,03 |
| **655** | 2057,743 | 33 69 55,45 | **695** | 2183,497 | 37 93 66,95 |
| 656 | 2060,885 | 33 79 85,10 | 696 | 2186,549 | 38 04 59,44 |
| 657 | 2064,026 | 33 90 16,33 | 697 | 2189,690 | 38 15 53,50 |
| 658 | 2067,168 | 34 00 49,13 | 698 | 2192,832 | 38 26 49,13 |
| 659 | 2070,310 | 34 10 83,50 | 699 | 2195,973 | 38 37 46,33 |
| **660** | 2073,451 | 34 21 19,44 | **700** | 2199,115 | 38 48 45,10 |
| 661 | 2076,593 | 34 31 56,95 | 701 | 2202,256 | 38 59 45,44 |
| 662 | 2079,734 | 34 41 96,03 | 702 | 2205,398 | 38 70 47,36 |
| 663 | 2082,876 | 34 52 36,69 | 703 | 2208,540 | 38 81 50,84 |
| 664 | 2086,018 | 34 62 78,91 | 704 | 2211,681 | 38 92 55,90 |
| **665** | 2089,159 | 34 73 22,70 | **705** | 2214,823 | 39 03 62,52 |
| 666 | 2092,301 | 34 83 68,07 | 706 | 2217,964 | 39 14 70,72 |
| 667 | 2095,442 | 34 94 15,00 | 707 | 2221,106 | 39 25 80,49 |
| 668 | 2098,584 | 35 04 63,51 | 708 | 2224,248 | 39 36 91,83 |
| 669 | 2101,725 | 35 15 13,59 | 709 | 2227,389 | 39 48 04,74 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **710** | 2230,531 | 39 59 19,21 | **750** | 2356,195 | 44 17 86,47 |
| 711 | 2233,672 | 39 70 35,27 | 751 | 2359,336 | 44 29 65,35 |
| 712 | 2236,814 | 39 81 52,89 | 752 | 2362,478 | 44 41 45,80 |
| 713 | 2239,956 | 39 92 72,08 | 753 | 2365,619 | 44 53 27,83 |
| 714 | 2243,097 | 40 03 92,84 | 754 | 2368,761 | 44 65 11,42 |
| **715** | 2246,239 | 40 15 15,18 | **755** | 2371,902 | 44 76 96,59 |
| 716 | 2249,380 | 40 26 39,08 | 756 | 2375,044 | 44 88 83,62 |
| 717 | 2252,522 | 40 37 64,56 | 757 | 2378,186 | 45 00 71,63 |
| 718 | 2255,664 | 40 48 91,60 | 758 | 2381,327 | 45 12 61,51 |
| 719 | 2258,805 | 40 60 20,22 | 759 | 2384,469 | 45 24 52,96 |
| **720** | 2261,947 | 40 71 50,41 | **760** | 2387,610 | 45 36 45,98 |
| 721 | 2265,088 | 40 82 82,17 | 761 | 2390,752 | 45 48 40,57 |
| 722 | 2268,230 | 40 94 15,50 | 762 | 23.3,894 | 45 60 36,73 |
| 723 | 2271,371 | 41 05 50,40 | 763 | 2397,035 | 45 72 34,46 |
| 724 | 2274,513 | 41 16 86,87 | 764 | 2400,177 | 45 84 33,77 |
| **725** | 2277,655 | 41 28 24,91 | **765** | 2403,318 | 45 96 34,64 |
| 726 | 2280,796 | 41 39 64,52 | 766 | 2406,460 | 46 08 37,08 |
| 727 | 2283,938 | 41 51 05,71 | 767 | 2409,602 | 46 20 41,10 |
| 728 | 2287,079 | 41 62 48,46 | 768 | 2412,743 | 46 32 46,69 |
| 729 | 2290,221 | 41 73 92,79 | 769 | 2415,885 | 46 44 53,84 |
| **730** | 2293,363 | 41 85 38,68 | **770** | 2419,026 | 46 56 62,57 |
| 731 | 2296,504 | 41 96 86,15 | 771 | 2422,168 | 46 68 72,87 |
| 732 | 2299,646 | 42 08 35,19 | 772 | 2425,310 | 46 80 84,74 |
| 733 | 2302,787 | 42 19 85,79 | 773 | 2428,451 | 46 92 98,18 |
| 734 | 2305,929 | 42 31 37,97 | 774 | 2431,593 | 47 05 13,19 |
| **735** | 2309,071 | 42 42 91,72 | **775** | 2434,734 | 47 17 29,77 |
| 736 | 2312,212 | 42 54 47,04 | 776 | 2437,876 | 47 29 47,92 |
| 737 | 2315,354 | 42 66 03,93 | 777 | 2441,018 | 47 41 67,65 |
| 738 | 2318,495 | 42 77 62,40 | 778 | 2444,159 | 47 53 88,94 |
| 739 | 2321,637 | 42 89 22,43 | 779 | 2447,301 | 47 66 11,81 |
| **740** | 2324,779 | 43 00 84,03 | **780** | 2450,442 | 47 78 36,24 |
| 741 | 2327,920 | 43 12 47,21 | 781 | 2453,584 | 47 90 62,25 |
| 742 | 2331,062 | 43 24 11,95 | 782 | 2456,725 | 48 02 89,83 |
| 743 | 2334,203 | 43 35 78,27 | 783 | 2459,867 | 48 15 18,97 |
| 744 | 2337,345 | 43 47 46,16 | 784 | 2463,009 | 48 27 49,69 |
| **745** | 2340,487 | 43 59 15,62 | **785** | 2466,150 | 48 39 81,98 |
| 746 | 2343,623 | 43 70 86,64 | 786 | 2469,292 | 48 52 15,84 |
| 747 | 2346,770 | 43 82 59,24 | 787 | 2472,433 | 48 64 51,28 |
| 748 | 2349,911 | 43 94 33,41 | 788 | 2475,575 | 48 76 88,28 |
| 749 | 2353,053 | 44 06 09,16 | 789 | 2478,717 | 48 89 26,85 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **790** | 2481,858 | 49 01 66.99 | **830** | 2607,522 | 54 10 60.79 |
| 791 | 2485,000 | 49 14 08.71 | 831 | 2610,664 | 54 23 65.34 |
| 792 | 2488,141 | 49 26 51.99 | 832 | 2613,805 | 54 36 71.46 |
| 793 | 2491,283 | 49 38 96.85 | 833 | 2616,947 | 54 49 79.15 |
| 794 | 2494,425 | 49 51 43,28 | 834 | 2620,088 | 54 62 88,40 |
| **795** | 2497,566 | 49 63 91,27 | **835** | 2623,230 | 54 75 99.23 |
| 796 | 2500,708 | 49 76 40.84 | 836 | 2626,371 | 54 89 11.63 |
| 797 | 2503,849 | 49 88 91.98 | 837 | 2629,513 | 55 02 25,61 |
| 798 | 2506,991 | 50 01 44,69 | 838 | 2632,655 | 55 15 41,15 |
| 799 | 2510,133 | 50 13 98,97 | 839 | 2635,796 | 55 28 58,26 |
| **800** | 2513,274 | 50 26 54.82 | **840** | 2638,938 | 55 41 76,94 |
| 801 | 2516,416 | 50 39 12.25 | 841 | 2642,079 | 55 54 97,20 |
| 802 | 2519,557 | 50 51 71,24 | 842 | 2645,221 | 55 68 19,02 |
| 803 | 2522,699 | 50 64 31.80 | 843 | 2648,363 | 55 81 42.42 |
| 804 | 2525,840 | 50 76 93,94 | 844 | 2651,504 | 55 94 67,39 |
| **805** | 2528,982 | 50 89 57,65 | **845** | 2654,646 | 56 07 93.92 |
| 806 | 2532,124 | 51 02 22,92 | 846 | 2657,787 | 56 24 22,03 |
| 807 | 2535,265 | 51 14 89.77 | 847 | 2660,929 | 56 34 51.71 |
| 808 | 2538,407 | 51 27 58,19 | 848 | 2664,071 | 56 47 82,96 |
| 809 | 2541,548 | 51 40 28,18 | 849 | 2667,212 | 56 61 15,78 |
| **810** | 2544,690 | 51 52 99,74 | **850** | 2670,354 | 56 74 50,17 |
| 811 | 2547,832 | 51 65 72.86 | 851 | 2673,495 | 56 87 86,14 |
| 812 | 2550,973 | 51 78 47,57 | 852 | 2676,637 | 57 01 23,67 |
| 813 | 2554,115 | 51 91 23.84 | 853 | 2679,779 | 57 14 62,77 |
| 814 | 2557,256 | 52 04 01,68 | 854 | 2682,920 | 57 28 03,45 |
| **815** | 2560,398 | 52 16 81,10 | **855** | 2686,062 | 57 41 45,69 |
| 816 | 2563,540 | 52 29 62,08 | 856 | 2689,203 | 57 54 89,51 |
| 817 | 2566,681 | 52 42 44,63 | 857 | 2692,345 | 57 68 34,90 |
| 818 | 2569,823 | 52 55 28,76 | 858 | 2695,486 | 57 81 81,85 |
| 819 | 2572,964 | 52 68 14,46 | 859 | 2698,628 | 57 95 30,38 |
| **820** | 2576,106 | 52 81 01,73 | **860** | 2701,770 | 58 08 80,48 |
| 821 | 2579,248 | 52 93 90,56 | 861 | 2704,911 | 58 22 32,15 |
| 822 | 2582,389 | 53 06 80,97 | 862 | 2708,053 | 58 35 85,39 |
| 823 | 2585,531 | 53 19 72,95 | 863 | 2711,194 | 58 49 40,21 |
| 824 | 2588,672 | 53 32 66,50 | 864 | 2714,336 | 58 62 96,59 |
| **825** | 2591,814 | 53 45 61,63 | **865** | 2717,448 | 58 76 54,54 |
| 826 | 2594,956 | 53 58 58,32 | 866 | 2720,619 | 58 90 14,07 |
| 827 | 2598,097 | 53 71 56,58 | 867 | 2723,761 | 59 03 75,16 |
| 828 | 2601,239 | 53 84 56,41 | 868 | 2726,902 | 59 17 37,83 |
| 829 | 2604,380 | 53 97 57,82 | 869 | 2730,044 | 59 31 02,06 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **870** | 2733,186 | 59 44 67.87 | **910** | 2858,849 | 65 03 88.21 |
| 571 | 2736,327 | 59 58 35.25 | 911 | 2861,990 | 65 18 18.43 |
| 572 | 2739,469 | 59 72 04,20 | 912 | 2865,133 | 65 32 50,21 |
| 573 | 2742,610 | 59 85 74.72 | 913 | 2868,274 | 65 46 83,56 |
| 574 | 2745,752 | 59 99 46.81 | 914 | 2871,416 | 65 61 18,48 |
| **875** | 2748,894 | 60 13 20,47 | **915** | 2874,557 | 65 75 54,98 |
| 876 | 2752,035 | 60 26 95.70 | 916 | 2877,699 | 65 89 93.04 |
| 877 | 2755,177 | 60 40 72.50 | 917 | 2880,841 | 66 04 32,68 |
| 878 | 2758,318 | 60 54 50.88 | 918 | 2883,982 | 66 18 73,88 |
| 879 | 2761,460 | 60 68 30,82 | 919 | 2887,124 | 66 33 16,66 |
| **880** | 2764,602 | 60 82 12.34 | **920** | 2890,265 | 66 47 61,01 |
| 881 | 2767,743 | 60 95 95.42 | 921 | 2893,407 | 66 62 06,92 |
| 882 | 2770,885 | 61 09 80.08 | 922 | 2896,548 | 66 76 54,41 |
| 883 | 2774,026 | 61 23 66,31 | 923 | 2899,690 | 66 91 03.47 |
| 884 | 2777,168 | 61 37 54,11 | 924 | 2902,832 | 67 05 54,10 |
| **885** | 2780,310 | 61 51 43,48 | **925** | 2905,973 | 67 20 06.30 |
| 886 | 2783,451 | 61 65 34,42 | 926 | 2909,115 | 67 34 60,08 |
| 887 | 2786,593 | 61 79 26,93 | 927 | 2912,256 | 67 49 15,42 |
| 888 | 2789,734 | 61 93 21.01 | 928 | 2915,398 | 67 63 72,33 |
| 889 | 2792,876 | 62 07 16,66 | 929 | 2918,540 | 67 78 30,82 |
| **890** | 2796,017 | 62 21 13.99 | **930** | 2921,681 | 67 92 90,87 |
| 891 | 2799,159 | 62 35 12,68 | 931 | 2924,823 | 68 07 52.50 |
| 892 | 2802,301 | 62 49 13,04 | 932 | 2927,964 | 68 22 15,69 |
| 893 | 2805,442 | 62 63 14.98 | 933 | 2931,106 | 68 36 80,46 |
| 894 | 2808,584 | 62 77 18,49 | 934 | 2934,248 | 68 51 46,80 |
| **895** | 2811,725 | 62 91 23,56 | **935** | 2937,389 | 68 66 14,71 |
| 896 | 2814,867 | 63 05 30.21 | 936 | 2940,531 | 68 80 84,19 |
| 897 | 2818,009 | 63 19 38.43 | 937 | 2943,672 | 68 95 55.24 |
| 898 | 2821,150 | 63 33 48.22 | 938 | 2946,814 | 69 10 27.86 |
| 899 | 2824,292 | 63 47 59,58 | 939 | 2949,955 | 69 25 02,05 |
| **900** | 2827,433 | 63 61 72,51 | **940** | 2953.097 | 69 39 77,82 |
| 901 | 2830,575 | 63 75 87.01 | 941 | 2956,239 | 69 54 55.15 |
| 902 | 2833,717 | 63 90 03.09 | 942 | 2959.380 | 69 69 34,06 |
| 903 | 2836,858 | 64 04 20.73 | 943 | 2962.522 | 69 84 14.53 |
| 904 | 2840,000 | 64 18 39,95 | 944 | 2965.663 | 69 98 96,58 |
| **905** | 2843,141 | 64 32 60,73 | **945** | 2968.805 | 70 13 80.20 |
| 906 | 2846,283 | 64 46 83,09 | 946 | 2971,947 | 70 28 65,38 |
| 907 | 2849,425 | 64 61 07,01 | 947 | 2975,088 | 70 43 52,14 |
| 908 | 2852,566 | 64 75 32,51 | 948 | 2978,230 | 70 58 40,47 |
| 909 | 2855,708 | 64 89 59,58 | 949 | 2981,371 | 70 73 30,37 |

| Diamètre. $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ | Diamètre $d$ | CIRCONFÉRENCE. $\pi d$ | SURFACE. $\frac{1}{4}\pi d^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **950** | 2984,513 | 70 88 21,84 | **975** | 3063,053 | 74 66 19,13 |
| 951 | 2987,655 | 71 03 14,88 | 976 | 3066,194 | 74 81 51,44 |
| 952 | 2990,796 | 71 18 09,50 | 977 | 3069,336 | 74 96 85,32 |
| 953 | 2993,938 | 71 33 05,68 | 978 | 3072,478 | 75 12 20,78 |
| 954 | 2997,079 | 71 48 03,43 | 979 | 3075,619 | 75 27 57,80 |
| **955** | 3000,221 | 71 63 02,76 | **980** | 3078,761 | 75 42 96,40 |
| 956 | 3003,363 | 71 78 03,66 | 981 | 3081,902 | 75 58 36,56 |
| 957 | 3006,504 | 71 93 06,12 | 982 | 3085,044 | 75 73 78,30 |
| 958 | 3009,646 | 72 08 10,16 | 983 | 3088,186 | 75 89 21,61 |
| 959 | 3012,787 | 72 23 15,77 | 984 | 3091,327 | 76 04 66,48 |
| **960** | 3015,929 | 72 38 22,95 | **985** | 3094,469 | 76 20 12,93 |
| 961 | 3019,071 | 72 53 31,70 | 986 | 3097,610 | 76 35 60,95 |
| 962 | 3022,212 | 72 68 42,02 | 987 | 3100,752 | 76 51 10,54 |
| 963 | 3025,353 | 72 83 53,91 | 988 | 3103,894 | 76 66 61,71 |
| 964 | 3028,495 | 72 98 67,37 | 989 | 3107,035 | 76 82 14,44 |
| **965** | 3031,637 | 73 13 82,40 | **990** | 3110,177 | 76 97 68,74 |
| 966 | 3034,779 | 73 28 99,01 | 991 | 3113,318 | 77 13 24,61 |
| 967 | 3037,920 | 73 44 17,18 | 992 | 3116,460 | 77 28 82,06 |
| 968 | 3041,062 | 73 59 36,93 | 993 | 3119,602 | 77 44 41,07 |
| 969 | 3044,203 | 73 74 58,25 | 994 | 3122,743 | 77 60 01,66 |
| **970** | 3047,345 | 73 89 81,13 | **995** | 3125,885 | 77 75 63,82 |
| 971 | 3050,486 | 74 05 05,59 | 996 | 3129,026 | 77 91 27,54 |
| 972 | 3053,628 | 74 20 31,62 | 997 | 3132,168 | 78 06 92,84 |
| 973 | 3056,770 | 74 35 59,22 | 998 | 3135,309 | 78 22 59,71 |
| 974 | 3059,911 | 74 50 88,39 | 999 | 3138,451 | 78 38 28,15 |
| | | | **1000** | 3141,593 | 78 53 98,16 |

**Longueur des arcs de cercle dont le rayon est l'unité.**

| SECONDES | ARCS | MINUTES | ARCS |
|---|---|---|---|
| **1** | 0,000 005 | **1** | 0,000 291 |
| 2 | 0,000 010 | 2 | 0,000 582 |
| 3 | 0,000 015 | 3 | 0,000 873 |
| 4 | 0,000 019 | 4 | 0,001 164 |
| **5** | 0,000 024 | **5** | 0,001 454 |
| 6 | 0,000 029 | 6 | 0,001 745 |
| 7 | 0,000 034 | 7 | 0,002 036 |
| 8 | 0,000 039 | 8 | 0,002 327 |
| 9 | 0,000 044 | 9 | 0,002 618 |
| **10** | 0,000 048 | **10** | 0,002 909 |
| 20 | 0,000 09[illegible] | 20 | 0,005 818 |
| 30 | 0,000 14[illegible] | 30 | 0,008 727 |
| 40 | 0,000 19[illegible] | 40 | 0,011 636 |
| 50 | 0,000 242 | 50 | 0,014 544 |

| DEGRÉS | ARCS | DEGRES | ARCS | DEGRÉS | ARCS |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | **15** | 0,261 799 | **30** | 0,523 599 |
| **1** | 0,017 453 | 16 | 0,279 253 | 31 | 0,541 052 |
| 2 | 0,034 907 | [illegible] | 0,296 706 | 32 | 0,558 505 |
| 3 | 0,052 360 | 18 | 0,314 159 | 33 | 0,575 959 |
| 4 | 0,069 813 | 19 | 0,331 613 | 34 | 0,593 412 |
| **5** | 0,087 266 | **20** | 0,349 066 | **35** | 0,610 865 |
| 6 | 0,104 720 | 21 | 0,366 519 | 36 | 0,628 319 |
| 7 | 0,122 173 | 22 | 0,383 972 | 37 | 0,645 772 |
| 8 | 0,139 626 | 23 | 0,401 426 | 38 | 0,663 225 |
| 9 | 0,157 080 | 24 | 0,418 879 | 39 | 0,680 678 |
| **10** | 0,174 533 | **25** | 0,436 332 | **40** | 0,698 132 |
| 11 | 0,191 086 | 26 | 0,453 786 | 41 | 0,715 585 |
| 12 | 0,209 440 | 27 | 0,471 239 | 42 | 0,733 038 |
| 13 | 0,226 893 | 28 | 0,488 692 | 43 | 0,750 492 |
| 14 | 0,244 346 | 29 | 0,506 145 | 44 | 0,767 945 |

| DEGRÉS | ARCS | DEGRÉS | ARCS | DEGRÉS | ARCS |
|---|---|---|---|---|---|
| **45** | 0,785 398 | **70** | 1,221 730 | **95** | 1,658 063 |
| 46 | 0,802 851 | 71 | 1,239 184 | 96 | 1,675 516 |
| 47 | 0,820 305 | 72 | 1,256 637 | 97 | 1,692 969 |
| 48 | 0,837 758 | 73 | 1,274 090 | 98 | 1,710 423 |
| 49 | 0,855 211 | 74 | 1,291 544 | 99 | 1,727 876 |
| **50** | 0,872 665 | **75** | 1,308 997 | **100** | 1,745 329 |
| 51 | 0,890 118 | 76 | 1,326 450 | 110 | 1,919 862 |
| 52 | 0,907 571 | 77 | 1,343 903 | 120 | 2,094 395 |
| 53 | 0,925 024 | 78 | 1,361 357 | 130 | 2,268 928 |
| 54 | 0,942 478 | 79 | 1,378 810 | 140 | 2,443 461 |
| **55** | 0,959 931 | **80** | 1,396 263 | **150** | 2,617 994 |
| 56 | 0,977 384 | 81 | 1,413 717 | 160 | 2,792 527 |
| 57 | 0,994 838 | 82 | 1,431 170 | 170 | 2,967 060 |
| 58 | 1,012 291 | 83 | 1,448 623 | 180 | 3,141 593 |
| 59 | 1,029 744 | 84 | 1,466 077 | 190 | 3,316 126 |
| **60** | 1,047 198 | **85** | 1,483 530 | **200** | 3,490 659 |
| 61 | 1,064 651 | 86 | 1,500 983 | 210 | 3,665 191 |
| 62 | 1,082 104 | 87 | 1,518 436 | 220 | 3,839 724 |
| 63 | 1,099 557 | 88 | 1,535 890 | 230 | 4,014 257 |
| 64 | 1,117 010 | 89 | 1,553 343 | 240 | 4,188 700 |
| **65** | 1,134 464 | **90** | 1,570 796 | **250** | 4,363 323 |
| 66 | 1,151 917 | 91 | 1,588 250 | 260 | 4,537 856 |
| 67 | 1,169 371 | 92 | 1,605 703 | 270 | 4,712 389 |
| 68 | 1,186 824 | 93 | 1,623 156 | 280 | 4,886 922 |
| 69 | 1,204 277 | 94 | 1,640 609 | 290 | 5,061 455 |
| | | | | **300** | 5,235 988 |

Problème inverse dans un cercle de rayon 1. — L'arc d'une longueur absolue $l$ a pour graduation :

En secondes..... $206264'',806 \times l$
En minutes..... $3437',747 \times l$
En degrés..... $57^{\circ},296 \times l$

Corde et flèche. — En appelant $c$ et $f$ la corde et la flèche d'un arc de graduation $a$ dans un cercle de rayon 1, on a :

$$c = 2 \sin \frac{1}{2} a \qquad f = \left(1 - \cos \frac{1}{2} a\right)$$

(Voir les tables trigonométriques p. 6.)

Sin. $1'' = 0,00000\ 48481$
Cos. $1'' = 0,99999\ 99999\ 8$
Tang. $1'' = 0,00000\ 48481$

## Calcul des arcs et segments de cercles.

### CONNAISSANT LA CORDE ET LA FLÈCHE DE L'ARC SOUS-TENDU.

Appelons $c$ la corde et $f$ la flèche données : soient $l$ la longueur de l'arc et $s$ l'aire du segment de cercle.

D'après la valeur du rapport $\frac{f}{c}$, les tables suivantes donnent les rapports $\frac{l}{c}$ et $\frac{s}{c^2}$, d'où se déduisent $l$ et $s$ (1). (Voir table des carrés, p. 39.)

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 0,0000 | **0,035** | 0,0234 | **0,070** | 0,0469 |
| **0,001** | 0.0007 | 0.036 | 0,0240 | 0,071 | 0,0475 |
| 0.002 | 0,0013 | 0,037 | 0,0247 | 0.072 | 0,0482 |
| 0.003 | 0,0020 | 0,038 | 0.0254 | 0,073 | 0,0489 |
| 0,004 | 0,0027 | 0,039 | 0,0260 | 0,074 | 0,0496 |
| **0,005** | 0.0033 | **0,040** | 0,0267 | **0,075** | 0.0502 |
| 0.006 | 0.0040 | 0,041 | 0,0274 | 0,076 | 0,0509 |
| 0,007 | 0,0047 | 0,042 | 0.0280 | 0,077 | 0,0516 |
| 0,008 | 0,0054 | 0,043 | 0.0287 | 0,078 | 0,0523 |
| 0,009 | 0.0060 | 0,044 | 0,0294 | 0,079 | 0,0529 |
| **0,010** | 0,0067 | **0,045** | 0,0301 | **0,080** | 0,0536 |
| 0.011 | 0.0073 | 0.046 | 0,0307 | 0,081 | 0,0543 |
| 0.012 | 0.0080 | 0.047 | 0.0314 | 0,082 | 0.0550 |
| 0.013 | 0,0087 | 0,048 | 0.0321 | 0,083 | 0.0557 |
| 0,014 | 0,0093 | 0,049 | 0,0327 | 0,084 | 0.0563 |
| **0,015** | 0.0100 | **0,050** | 0,0334 | **0,085** | 0,0570 |
| 0.016 | 0.0107 | 0.051 | 0,0341 | 0,086 | 0,0577 |
| 0.017 | 0.0113 | 0.052 | 0,0347 | 0,087 | 0,0584 |
| 0.018 | 0.0120 | 0.053 | 0,0354 | 0,088 | 0,0591 |
| 0.019 | 0.0127 | 0,054 | 0,0361 | 0,089 | 0,0597 |
| **0,020** | 0,0133 | **0,055** | 0,0368 | **0,090** | 0,0604 |
| 0.021 | 0.0140 | 0.056 | 0,0374 | 0.091 | 0,0611 |
| 0.022 | 0,0147 | 0,057 | 0,0381 | 0.092 | 0,0618 |
| 0,023 | 0.0153 | 0,058 | 0,0388 | 0.093 | 0,0625 |
| 0,024 | 0,0160 | 0,050 | 0,0394 | 0,094 | 0,0632 |
| **0,025** | 0,0167 | **0,060** | 0,0401 | **0,095** | 0.0638 |
| 0.026 | 0.0173 | 0,061 | 0.0408 | 0.096 | 0.0645 |
| 0.027 | 0.0180 | 0,062 | 0.0415 | 0.097 | 0,0652 |
| 0.028 | 0.0187 | 0.063 | 0,0421 | 0,098 | 0.0659 |
| 0,029 | 0.0193 | 0,064 | 0,0428 | 0,099 | 0,0666 |
| **0,030** | 0,0200 | **0,065** | 0,0435 | | |
| 0.031 | 0.0207 | 0,066 | 0,0442 | | |
| 0.032 | 0,0214 | 0,067 | 0,0448 | | |
| 0.033 | 0 0220 | 0,068 | 0,0455 | | |
| 0,034 | 0,0227 | 0,069 | 0,0462 | | |

(1) Nous ne donnons pas les longueurs des arcs dans lesquels la flèche est plus petite que le dixième de la corde : ce cas se présente rarement dans la pratique et alors l'arc diffère très-peu de sa corde.

## Calcul des arcs et segments.

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0,100** | 1,0265 | 0,0672 | **0,135** | 1,0479 | 0,0913 |
| 0,101 | 1,0270 | 0,0679 | 0,136 | 1,0486 | 0,0920 |
| 0,102 | 1,0275 | 0,0686 | 0,137 | 1,0493 | 0,0927 |
| 0,103 | 1,0281 | 0,0693 | 0,138 | 1,0500 | 0,0934 |
| 0,104 | 1,0286 | 0,0700 | 0,139 | 1,0507 | 0,0941 |
| **0,105** | 1,0291 | 0,0707 | **0,140** | 1,0515 | 0,0948 |
| 0,106 | 1,0297 | 0,0714 | 0,141 | 1,0522 | 0,0955 |
| 0,107 | 1,0303 | 0,0720 | 0,142 | 1,0530 | 0,0962 |
| 0,108 | 1,0308 | 0,0727 | 0,143 | 1,0537 | 0,0969 |
| 0,109 | 1,0314 | 0,0734 | 0,144 | 1,0544 | 0,0976 |
| **0,110** | 1,0320 | 0,0741 | **0,145** | 1,0552 | 0,0983 |
| 0,111 | 1,0325 | 0,0748 | 0,146 | 1,0559 | 0,0990 |
| 0,112 | 1,0331 | 0,0755 | 0,147 | 1,0567 | 0,0997 |
| 0,113 | 1,0337 | 0,0761 | 0,148 | 1,0574 | 0,1004 |
| 0,114 | 1,0343 | 0,0768 | 0,149 | 1,0582 | 0,1011 |
| **0,115** | 1,0349 | 0,0775 | **0,150** | 1,0590 | 0,1018 |
| 0,116 | 1,0355 | 0,0782 | 0,151 | 1,0597 | 0,1025 |
| 0,117 | 1,0361 | 0,0789 | 0,152 | 1,0605 | 0,1032 |
| 0,118 | 1,0367 | 0,0796 | 0,153 | 1,0613 | 0,1039 |
| 0,119 | 1,0373 | 0,0803 | 0,154 | 1,0621 | 0,1046 |
| **0,120** | 1,0380 | 0,0810 | **0,155** | 1,0629 | 0,1053 |
| 0,121 | 1,0386 | 0,0816 | 0,156 | 1,0637 | 0,1060 |
| 0,122 | 1,0392 | 0,0823 | 0,157 | 1,0645 | 0,1067 |
| 0,123 | 1,0399 | 0,0830 | 0,158 | 1,0653 | 0,1074 |
| 0,124 | 1,0405 | 0,0837 | 0,159 | 1,0661 | 0,1081 |
| **0,125** | 1,0412 | 0,0844 | **0,160** | 1,0669 | 0,1088 |
| 0,126 | 1,0418 | 0,0851 | 0,161 | 1,0677 | 0,1095 |
| 0,127 | 1,0425 | 0,0858 | 0,162 | 1,0686 | 0,1102 |
| 0,128 | 1,0431 | 0,0865 | 0,163 | 1,0694 | 0,1109 |
| 0,129 | 1,0438 | 0,0872 | 0,164 | 1,0702 | 0,1117 |
| **0,130** | 1,0445 | 0,0879 | **0,165** | 1,0711 | 0,1124 |
| 0,131 | 1,0451 | 0,0886 | 0,166 | 1,0719 | 0,1131 |
| 0,132 | 1,0458 | 0,0892 | 0,167 | 1,0728 | 0,1138 |
| 0,133 | 1,0465 | 0,0899 | 0,168 | 1,0736 | 0,1145 |
| 0,134 | 1,0472 | 0,0906 | 0,169 | 1,0745 | 0,1152 |

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0,170** | 1,0754 | 0,1159 | **0,210** | 1,1137 | 0,1448 |
| 0,171 | 1,0762 | 0,1165 | 0,211 | 1,1148 | 0,1456 |
| 0,172 | 1,0771 | 0,1173 | 0,212 | 1,1158 | 0,1463 |
| 0,173 | 1,0780 | 0,1181 | 0,213 | 1,1169 | 0,1470 |
| 0,174 | 1,0789 | 0,1188 | 0,214 | 1,1180 | 0,1478 |
| **0,175** | 1,0798 | 0,1195 | **0,215** | 1,1190 | 0,1485 |
| 0,176 | 1,0807 | 0,1202 | 0,216 | 1,1201 | 0,1492 |
| 0,177 | 1,0816 | 0,1209 | 0,217 | 1,1212 | 0,1500 |
| 0,178 | 1,0825 | 0,1216 | 0,218 | 1,1222 | 0,1507 |
| 0,179 | 1,0834 | 0,1223 | 0,219 | 1,1233 | 0,1515 |
| **0,180** | 1,0843 | 0,1231 | **0,220** | 1,1244 | 0,1522 |
| 0,181 | 1,0852 | 0,1238 | 0,221 | 1,1255 | 0,1529 |
| 0,182 | 1,0861 | 0,1245 | 0,222 | 1,1266 | 0,1537 |
| 0,183 | 1,0870 | 0,1252 | 0,223 | 1,1277 | 0,1544 |
| 0,184 | 1,0880 | 0,1259 | 0,224 | 1,1288 | 0,1552 |
| **0,185** | 1,0889 | 0,1267 | **0,225** | 1,1300 | 0,1559 |
| 0,186 | 1,0898 | 0,1274 | 0,226 | 1,1311 | 0,1567 |
| 0,187 | 1,0908 | 0,1281 | 0,227 | 1,1322 | 0,1574 |
| 0,188 | 1,0917 | 0,1288 | 0,228 | 1,1333 | 0,1582 |
| 0,189 | 1,0927 | 0,1295 | 0,229 | 1,1344 | 0,1589 |
| **0,190** | 1,0936 | 0,1302 | **0,230** | 1,1356 | 0,1596 |
| 0,191 | 1,0946 | 0,1310 | 0,231 | 1,1367 | 0,1604 |
| 0,192 | 1,0956 | 0,1317 | 0,232 | 1,1379 | 0,1611 |
| 0,193 | 1,0965 | 0,1324 | 0,233 | 1,1390 | 0,1619 |
| 0,194 | 1,0975 | 0,1332 | 0,234 | 1,1402 | 0,1626 |
| **0,195** | 1,0985 | 0,1339 | **0,235** | 1,1414 | 0,1634 |
| 0,196 | 1,0995 | 0,1346 | 0,236 | 1,1425 | 0,1641 |
| 0,197 | 1,1005 | 0,1353 | 0,237 | 1,1436 | 0,1649 |
| 0,198 | 1,1015 | 0,1361 | 0,238 | 1,1448 | 0,1656 |
| 0,199 | 1,1025 | 0,1368 | 0,239 | 1,1460 | 0,1664 |
| **0,200** | 1,1035 | 0,1375 | **0,240** | 1,1471 | 0,1671 |
| 0,201 | 1,1045 | 0,1382 | 0,241 | 1,1483 | 0,1679 |
| 0,202 | 1,1055 | 0,1390 | 0,242 | 1,1495 | 0,1687 |
| 0,203 | 1,1065 | 0,1397 | 0,243 | 1,1507 | 0,1694 |
| 0,204 | 1,1075 | 0,1404 | 0,244 | 1,1519 | 0,1702 |
| **0,205** | 1,1085 | 0,1412 | **0,245** | 1,1531 | 0,1709 |
| 0,206 | 1,1096 | 0,1419 | 0,246 | 1,1543 | 0,1717 |
| 0,207 | 1,1106 | 0,1426 | 0,247 | 1,1555 | 0,1725 |
| 0,208 | 1,1116 | 0,1434 | 0,248 | 1,1567 | 0,1732 |
| 0,209 | 1,1127 | 0,1441 | 0,249 | 1,1579 | 0,1740 |

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0.250** | 1.1591 | 0.1747 | **0.290** | 1.2111 | 0.2058 |
| 0.251 | 1.1603 | 0.1755 | 0.291 | 1.2124 | 0.2066 |
| 0.252 | 1.1616 | 0.1763 | 0.292 | 1.2138 | 0.2074 |
| 0.253 | 1.1628 | 0.1770 | 0.293 | 1.2152 | 0.2082 |
| 0.254 | 1.1640 | 0.1778 | 0.294 | 1.2166 | 0.2090 |
| **0.255** | 1.1653 | 0.1786 | **0.295** | 1.2179 | 0.2098 |
| 0.256 | 1.1665 | 0.1793 | 0.296 | 1.2193 | 0.2106 |
| 0.257 | 1.1677 | 0.1801 | 0.297 | 1.2206 | 0.2113 |
| 0.258 | 1.1690 | 0.1809 | 0.298 | 1.2220 | 0.2121 |
| 0.259 | 1.1702 | 0.1816 | 0.299 | 1.2235 | 0.2129 |
| **0.260** | 1.1715 | 0.1824 | **0.300** | 1.2249 | 0.2137 |
| 0.261 | 1.1727 | 0.1832 | 0.301 | 1.2263 | 0.2145 |
| 0.262 | 1.1740 | 0.1839 | 0.302 | 1.2278 | 0.2153 |
| 0.263 | 1.1753 | 0.1847 | 0.303 | 1.2292 | 0.2161 |
| 0.264 | 1.1765 | 0.1855 | 0.304 | 1.2306 | 0.2169 |
| **0.265** | 1.1778 | 0.1863 | **0.305** | 1.2320 | 0.2177 |
| 0.266 | 1.1791 | 0.1870 | 0.306 | 1.2335 | 0.2185 |
| 0.267 | 1.1804 | 0.1878 | 0.307 | 1.2349 | 0.2193 |
| 0.268 | 1.1816 | 0.1886 | 0.308 | 1.2364 | 0.2201 |
| 0.269 | 1.1829 | 0.1893 | 0.309 | 1.2378 | 0.2210 |
| **0.270** | 1.1843 | 0.1901 | **0.310** | 1.2392 | 0.2218 |
| 0.271 | 1.1856 | 0.1909 | 0.311 | 1.2407 | 0.2226 |
| 0.272 | 1.1869 | 0.1917 | 0.312 | 1.2422 | 0.2234 |
| 0.273 | 1.1882 | 0.1925 | 0.313 | 1.2436 | 0.2242 |
| 0.274 | 1.1895 | 0.1933 | 0.314 | 1.2451 | 0.2250 |
| **0.275** | 1.1908 | 0.1940 | **0.315** | 1.2465 | 0.2258 |
| 0.276 | 1.1921 | 0.1948 | 0.316 | 1.2480 | 0.2266 |
| 0.277 | 1.1934 | 0.1956 | 0.317 | 1.2495 | 0.2275 |
| 0.278 | 1.1948 | 0.1964 | 0.318 | 1.2509 | 0.2283 |
| 0.279 | 1.1961 | 0.1972 | 0.319 | 1.2524 | 0.2291 |
| **0.280** | 1.1974 | 0.1980 | **0.320** | 1.2539 | 0.2299 |
| 0.281 | 1.1988 | 0.1988 | 0.321 | 1.2554 | 0.2307 |
| 0.282 | 1.2001 | 0.1996 | 0.322 | 1.2569 | 0.2315 |
| 0.283 | 1.2015 | 0.2003 | 0.323 | 1.2584 | 0.2323 |
| 0.284 | 1.2028 | 0.2011 | 0.324 | 1.2599 | 0.2332 |
| **0.285** | 1.2042 | 0.2019 | **0.325** | 1.2614 | 0.2340 |
| 0.286 | 1.2056 | 0.2027 | 0.326 | 1.2629 | 0.2348 |
| 0.287 | 1.2070 | 0.2035 | 0.327 | 1.2644 | 0.2356 |
| 0.288 | 1.2083 | 0.2043 | 0.328 | 1.2659 | 0.2365 |
| 0.289 | 1.2097 | 0.2051 | 0.329 | 1.2674 | 0.2373 |

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0,330** | 1,2689 | 0,2381 | **0,370** | 1,3323 | 0,2719 |
| 0,331 | 1,2704 | 0,2389 | 0,371 | 1,3340 | 0,2727 |
| 0,332 | 1,2720 | 0,2398 | 0,372 | 1,3356 | 0,2736 |
| 0,333 | 1,2735 | 0,2406 | 0,373 | 1,3373 | 0,2745 |
| 0,334 | 1,2750 | 0,2414 | 0,374 | 1,3390 | 0,2754 |
| **0,335** | 1,2766 | 0,2423 | **0,375** | 1,3406 | 0,2762 |
| 0,336 | 1,2781 | 0,2431 | 0,376 | 1,3423 | 0,2771 |
| 0,337 | 1,2796 | 0,2439 | 0,377 | 1,3440 | 0,2780 |
| 0,338 | 1,2812 | 0,2448 | 0,378 | 1,3456 | 0,2788 |
| 0,339 | 1,2827 | 0,2456 | 0,379 | 1,3473 | 0,2797 |
| **0,340** | 1,2843 | 0,2464 | **0,380** | 1,3490 | 0,2806 |
| 0,341 | 1,2858 | 0,2473 | 0,381 | 1,3507 | 0,2814 |
| 0,342 | 1,2874 | 0,2481 | 0,382 | 1,3524 | 0,2823 |
| 0,343 | 1,2889 | 0,2489 | 0,383 | 1,3541 | 0,2832 |
| 0,344 | 1,2905 | 0,2498 | 0,384 | 1,3557 | 0,2841 |
| **0,345** | 1,2921 | 0,2506 | **0,385** | 1,3574 | 0,2849 |
| 0,346 | 1,2937 | 0,2515 | 0,386 | 1,3591 | 0,2858 |
| 0,347 | 1,2952 | 0,2523 | 0,387 | 1,3608 | 0,2867 |
| 0,348 | 1,2968 | 0,2531 | 0,388 | 1,3625 | 0,2876 |
| 0,349 | 1,2984 | 0,2540 | 0,389 | 1,3642 | 0,2885 |
| **0,350** | 1,3000 | 0,2548 | **0,390** | 1,3660 | 0,2893 |
| 0,351 | 1,3016 | 0,2557 | 0,391 | 1,3677 | 0,2902 |
| 0,352 | 1,3031 | 0,2565 | 0,392 | 1,3694 | 0,2911 |
| 0,353 | 1,3047 | 0,2574 | 0,393 | 1,3711 | 0,2920 |
| 0,354 | 1,3063 | 0,2582 | 0,394 | 1,3728 | 0,2929 |
| **0,355** | 1,3079 | 0,2591 | **0,395** | 1,3745 | 0,2938 |
| 0,356 | 1,3095 | 0,2599 | 0,396 | 1,3763 | 0,2947 |
| 0,357 | 1,3111 | 0,2607 | 0,397 | 1,3780 | 0,2955 |
| 0,358 | 1,3128 | 0,2616 | 0,398 | 1,3797 | 0,2964 |
| 0,359 | 1,3144 | 0,2625 | 0,399 | 1,3815 | 0,2973 |
| **0,360** | 1,3160 | 0,2633 | **0,400** | 1,3832 | 0,2982 |
| 0,361 | 1,3176 | 0,2642 | 0,401 | 1,3850 | 0,2991 |
| 0,362 | 1,3192 | 0,2650 | 0,402 | 1,3867 | 0,3000 |
| 0,363 | 1,3209 | 0,2659 | 0,403 | 1,3885 | 0,3009 |
| 0,364 | 1,3225 | 0,2667 | 0,404 | 1,3902 | 0,3018 |
| **0,365** | 1,3241 | 0,2676 | **0,405** | 1,3920 | 0,3027 |
| 0,366 | 1,3258 | 0,2684 | 0,406 | 1,3937 | 0,3036 |
| 0,367 | 1,3274 | 0,2693 | 0,407 | 1,3955 | 0,3045 |
| 0,368 | 1,3290 | 0,2702 | 0,408 | 1,3972 | 0,3054 |
| 0,369 | 1,3307 | 0,2710 | 0,409 | 1,3990 | 0,3063 |

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0,410** | 1,4008 | 0,3072 | **0,450** | 1,4738 | 0,3441 |
| 0,411 | 1,4025 | 0,3081 | 0,451 | 1,4756 | 0,3451 |
| 0,412 | 1,4043 | 0,3090 | 0,452 | 1,4775 | 0,3460 |
| 0,413 | 1,4061 | 0,3099 | 0,453 | 1,4794 | 0,3470 |
| 0,414 | 1,4079 | 0,3108 | 0,454 | 1,4813 | 0,3479 |
| **0,415** | 1,4097 | 0,3117 | **0,455** | 1,4832 | 0,3489 |
| 0,416 | 1,4114 | 0,3126 | 0,456 | 1,4851 | 0,3498 |
| 0,417 | 1,4132 | 0,3135 | 0,457 | 1,4870 | 0,3508 |
| 0,418 | 1,4150 | 0,3144 | 0,458 | 1,4889 | 0,3517 |
| 0,419 | 1,4168 | 0,3153 | 0,459 | 1,4908 | 0,3527 |
| **0,420** | 1,4186 | 0,3162 | **0,460** | 1,4927 | 0,3536 |
| 0,421 | 1,4204 | 0,3172 | 0,461 | 1,4946 | 0,3546 |
| 0,422 | 1,4222 | 0,3181 | 0,462 | 1,4965 | 0,3555 |
| 0,423 | 1,4240 | 0,3190 | 0,463 | 1,4984 | 0,3565 |
| 0,424 | 1,4258 | 0,3199 | 0,464 | 1,5003 | 0,3574 |
| **0,425** | 1,4276 | 0,3208 | **0,465** | 1,5022 | 0,3584 |
| 0,426 | 1,4294 | 0,3218 | 0,466 | 1,5042 | 0,3594 |
| 0,427 | 1,4313 | 0,3227 | 0,467 | 1,5061 | 0,3603 |
| 0,428 | 1,4331 | 0,3236 | 0,468 | 1,5080 | 0,3613 |
| 0,429 | 1,4349 | 0,3245 | 0,469 | 1,5099 | 0,3622 |
| **0,430** | 1,4367 | 0,3254 | **0,470** | 1,5118 | 0,3632 |
| 0,431 | 1,4386 | 0,3264 | 0,471 | 1,5138 | 0,3642 |
| 0,432 | 1,4404 | 0,3273 | 0,472 | 1,5157 | 0,3652 |
| 0,433 | 1,4422 | 0,3282 | 0,473 | 1,5176 | 0,3661 |
| 0,434 | 1,4440 | 0,3291 | 0,474 | 1,5196 | 0,3671 |
| **0,435** | 1,4459 | 0,3301 | **0,475** | 1,5215 | 0,3681 |
| 0,436 | 1,4477 | 0,3310 | 0,476 | 1,5235 | 0,3690 |
| 0,437 | 1,4496 | 0,3319 | 0,477 | 1,5254 | 0,3700 |
| 0,438 | 1,4514 | 0,3329 | 0,478 | 1,5274 | 0,3710 |
| 0,439 | 1,4533 | 0,3338 | 0,479 | 1,5293 | 0,3720 |
| **0,440** | 1,4551 | 0,3347 | **0,480** | 1,5313 | 0,3729 |
| 0,441 | 1,4570 | 0,3357 | 0,481 | 1,5332 | 0,3739 |
| 0,442 | 1,4588 | 0,3366 | 0,482 | 1,5352 | 0,3749 |
| 0,443 | 1,4607 | 0,3375 | 0,483 | 1,5371 | 0,3759 |
| 0,444 | 1,4625 | 0,3385 | 0,484 | 1,5391 | 0,3769 |
| **0,445** | 1,4644 | 0,3394 | **0,485** | 1,5411 | 0,3778 |
| 0,446 | 1,4663 | 0,3403 | 0,486 | 1,5430 | 0,3788 |
| 0,447 | 1,4681 | 0,3413 | 0,487 | 1,5450 | 0,3798 |
| 0,448 | 1,4700 | 0,3422 | 0,488 | 1,5470 | 0,3808 |
| 0,449 | 1,4719 | 0,3432 | 0,489 | 1,5489 | 0,3818 |

| RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ | RAPPORT de la flèche à la corde $\frac{f}{c}$ | RAPPORT de l'arc à la corde $\frac{l}{c}$ | RAPPORT du segment au carré de la corde $\frac{s}{c^2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0,490** | 1,5509 | 0,3828 | **0,500** | 1,5708 $=\frac{\pi}{2}$ | 0,3927 $=\frac{\pi}{8}$ |
| 0,491 | 1,5529 | 0,3838 | | | |
| 0,492 | 1,5548 | 0,3847 | | | |
| 0,493 | 1,5568 | 0,5857 | | | |
| 0,494 | 1,5588 | 0,3867 | | | |
| **0,495** | 1,5608 | 0,3877 | | | |
| 0,496 | 1,5628 | 0,3887 | | | |
| 0,497 | 1,5648 | 0,3897 | | | |
| 0,498 | 1,5668 | 0,3907 | | | |
| 0,499 | 1,5688 | 0,3917 | | | |

# Carrés et Cubes.

RACINES CARRÉES ET CUBIQUES, ET RÉCIPROQUES DES NOMBRES COMPRIS ENTRE 1 ET 1000.

| Nomb. $n$ | CARRÉS. $n^2$ | RACINES CARRÉES. $\sqrt{n}$ | CUBES. $n^3$ | RACINES CUBIQUES. $\sqrt[3]{n}$ | RÉCIPROQUES (1). $\frac{1}{n}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 1,000 | 1 | 1,000 | |
| 2 | 4 | 1,414 | 8 | 1,260 | 500 000 000 |
| 3 | 9 | 1,732 | 27 | 1,442 | 333 333 333 |
| 4 | 16 | 2,000 | 64 | 1,587 | 250 000 000 |
| **5** | 25 | 2,236 | 125 | 1,710 | 200 000 000 |
| 6 | 36 | 2,449 | 216 | 1,817 | 166 666 667 |
| 7 | 49 | 2·646 | 343 | 1,913 | 142 857 143 |
| 8 | 64 | 2,828 | 512 | 2,000 | 125 000 000 |
| 9 | 81 | 3,000 | 729 | 2,080 | 111 111 111 |
| **10** | 1 00 | 3,162 | 1 000 | 2,154 | 100 000 000 |
| 11 | 1 21 | 3,316 | 1 331 | 2,224 | 090 909 091 |
| 12 | 1 44 | 3,464 | 1 728 | 2,289 | 083 333 333 |
| 13 | 1 69 | 3,605 | 2 197 | 2,351 | 076 923 077 |
| 14 | 1 96 | 3,741 | 2 744 | 2,410 | 071 428 571 |
| **15** | 2 25 | 3,873 | 3 375 | 2,466 | 066 666 667 |
| 16 | 2 56 | 4,000 | 4 096 | 2,520 | 062 500 000 |
| 17 | 2 89 | 4,123 | 4 913 | 2,571 | 058 823 529 |
| 18 | 3 24 | 4,242 | 5 832 | 2,621 | 055 555 556 |
| 19 | 3 61 | 4,359 | 6 859 | 2,668 | 052 631 579 |
| **20** | 4 00 | 4,472 | 8 000 | 2,714 | 050 000 000 |
| 21 | 4 41 | 4,583 | 9 261 | 2,759 | 047 619 048 |
| 22 | 4 84 | 4,690 | 10 648 | 2,802 | 045 454 545 |
| 23 | 5 29 | 4,796 | 12 167 | 2,844 | 043 478 261 |
| 24 | 5 76 | 4,899 | 13 824 | 2,884 | 041 666 667 |
| **25** | 6 25 | 5,000 | 15 625 | 2,924 | 040 000 000 |
| 26 | 6 76 | 5,099 | 17 576 | 2,962 | 038 461 538 |
| 27 | 7 29 | 5,196 | 19 683 | 3,000 | 037 637 037 |
| 28 | 7 84 | 5,292 | 21 952 | 3,037 | 035 714 286 |
| 29 | 8 41 | 5,385 | 24 389 | 3,072 | 034 482 759 |
| **30** | 9 00 | 5,477 | 27 000 | 3,107 | 033 333 333 |
| 31 | 9 61 | 5,568 | 29 791 | 3,141 | 032 258 065 |
| 32 | 10 24 | 5,657 | 32 768 | 3,175 | 031 250 000 |
| 33 | 10 89 | 5,745 | 35 937 | 3,208 | 030 303 030 |
| 34 | 11 56 | 5,831 | 39 304 | 3,240 | 029 411 765 |

(1) La virgule doit se placer devant le nombre inscrit dans la colonne.

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **35** | 12 25 | 5,916 | 42 875 | 3,271 | 028 571 429 |
| 36 | 12 96 | 6,000 | 46 656 | 3,302 | 027 777 778 |
| 37 | 13 69 | 6,083 | 50 653 | 3,332 | 027 027 027 |
| 38 | 14 44 | 6.164 | 54 872 | 3,362 | 026 315 789 |
| 39 | 15 21 | 6.245 | 59 319 | 3,391 | 025 641 026 |
| **40** | 16 00 | 6.325 | 64 000 | 3,420 | 025 000 000 |
| 41 | 16 81 | 6,403 | 68 921 | 3,448 | 024 390 244 |
| 42 | 17 64 | 6,481 | 74 088 | 3,476 | 023 809 524 |
| 43 | 18 49 | 6,557 | 79 507 | 3,503 | 023 255 814 |
| 44 | 19 36 | 6,633 | 85 184 | 3,530 | 022 727 273 |
| **45** | 20 25 | 6,708 | 91 125 | 3,557 | 022 222 222 |
| 46 | 21 16 | 6,782 | 97 336 | 3,583 | 021 739 130 |
| 47 | 22 09 | 6,856 | 103 823 | 3,609 | 021 276 600 |
| 48 | 23 04 | 6,928 | 210 592 | 3,634 | 020 833 333 |
| 49 | 24 01 | 7,000 | 117 649 | 3,659 | 020 408 163 |
| **50** | 25 00 | 7,071 | 125 000 | 3,684 | 020 000 000 |
| 51 | 26 01 | 7,141 | 132 651 | 3,708 | 019 607 843 |
| 52 | 27 04 | 7,211 | 140 608 | 3,733 | 019 230 769 |
| 53 | 28 09 | 7,280 | 148 877 | 3,756 | 018 867 925 |
| 54 | 29 16 | 7,348 | 157 464 | 3,780 | 018 518 519 |
| **55** | 30 25 | 7,416 | 166 375 | 3,803 | 018 181 818 |
| 56 | 31 36 | 7,483 | 175 616 | 3.826 | 017 857 143 |
| 57 | 32 49 | 7,550 | 185 193 | 3.848 | 017 543 860 |
| 58 | 33 64 | 7,616 | 195 112 | 3,871 | 017 241 379 |
| 59 | 34 81 | 7,681 | 205 379 | 3,893 | 016 949 153 |
| **60** | 36 00 | 7,746 | 216 000 | 3.915 | 016 666 667 |
| 61 | 37 21 | 7,810 | 226 981 | 3.930 | 016 393 443 |
| 62 | 38 44 | 7,874 | 238 328 | 3,958 | 016 129 032 |
| 63 | 39 69 | 7,937 | 250 947 | 3,979 | 015 873 016 |
| 64 | 40 96 | 8,000 | 262 144 | 4,000 | 015 625 000 |
| **65** | 42 25 | 8,062 | 274 625 | 4,021 | 015 384 615 |
| 66 | 43 56 | 8,124 | 287 496 | 4,041 | 015 151 515 |
| 67 | 44 89 | 8,185 | 300 763 | 4,061 | 014 925 373 |
| 68 | 46 24 | 8,246 | 314 432 | 4,082 | 014 705 882 |
| 69 | 47 61 | 8,306 | 328 509 | 4,101 | 014 492 754 |
| **70** | 49 00 | 8,367 | 343 000 | 4,121 | 014 285 714 |
| 71 | 50 41 | 8.426 | 357 911 | 4,141 | 014 084 517 |
| 72 | 51 84 | 8,485 | 373 248 | 4,160 | 013 888 889 |
| 73 | 53 29 | 8,544 | 389 017 | 4,179 | 013 698 630 |
| 74 | 54 76 | 8,602 | 405 224 | 4,198 | 013 513 514 |
| **75** | 56 25 | 8,660 | 421 875 | 4.217 | 013 333 333 |
| 76 | 57 76 | 8.718 | 438 976 | 4.236 | 013 157 895 |
| 77 | 59 29 | 8,775 | 456 533 | 4,254 | 012 987 013 |
| 78 | 60 84 | 8.832 | 474 552 | 4,272 | 012 820 513 |
| 99 | 62 41 | 8,888 | 493 039 | 4,291 | 012 658 228 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **80** | 64 00 | 8.944 | 512 000 | 4,309 | 012 500 000 |
| 81 | 65 61 | 9.000 | 531 441 | 4.326 | 012 345 679 |
| 82 | 67 24 | 9.055 | 551 368 | 4,344 | 012 195 122 |
| 83 | 68 89 | 9.110 | 571 787 | 4,362 | 012 048 193 |
| 84 | 70 56 | 9,165 | 592 704 | 4,379 | 011 904 762 |
| **85** | 72 25 | 9,220 | 614 125 | 4,397 | 011 764 706 |
| 86 | 73 96 | 9,274 | 636 056 | 4,414 | 011 627 907 |
| 87 | 75 69 | 9,327 | 658 503 | 4,431 | 011 494 253 |
| 88 | 77 44 | 9.381 | 681 472 | 4.448 | 011 363 636 |
| 89 | 79 21 | 9.434 | 704 969 | 4,464 | 011 235 955 |
| **90** | 81 00 | 9.487 | 729 000 | 4,481 | 011 111 111 |
| 91 | 82 81 | 9,539 | 753 571 | 4,498 | 010 989 011 |
| 92 | 84 64 | 9,592 | 778 688 | 4,514 | 010 869 565 |
| 93 | 86 49 | 9,644 | 804 357 | 4,530 | 010 752 688 |
| 94 | 88 36 | 9,695 | 830 584 | 4,546 | 010 638 298 |
| **95** | 90 25 | 9,747 | 857 375 | 4.563 | 010 526 316 |
| 96 | 92 16 | 9.798 | 884 736 | 4,578 | 010 416 667 |
| 97 | 94 09 | 9.849 | 912 673 | 4,594 | 010 309 278 |
| 98 | 96 04 | 9,899 | 941 192 | 4,610 | 010 204 082 |
| 99 | 98 01 | 9,950 | 970 299 | 4,626 | 010 101 010 |
| **100** | 1 00 00 | 10,000 | 1 000 000 | 4.641 | 010 000 000 |
| 101 | 1 02 01 | 10.049 | 1 030 301 | 1,657 | 009 900 990 |
| 102 | 1 04 04 | 10,099 | 1 061 208 | 4,672 | 009 803 922 |
| 103 | 1 06 09 | 10,149 | 1 092 727 | 4,687 | 009 708 738 |
| 104 | 1 08 16 | 10,198 | 1 124 864 | 4,702 | 009 615 385 |
| **105** | 1 10 25 | 10,247 | 1 157 625 | 4,717 | 009 523 810 |
| 106 | 1 12 36 | 10,295 | 1 191 016 | 4,732 | 009 433 962 |
| 107 | 1 14 49 | 10.344 | 1 225 043 | 4,747 | 009 345 794 |
| 108 | 1 16 64 | 10,392 | 1 259 712 | 4,762 | 009 259 259 |
| 109 | 1 18 81 | 10,440 | 1 295 029 | 4,776 | 009 174 312 |
| **110** | 1 21 00 | 10,488 | 1 331 000 | 4.791 | 009 090 909 |
| 111 | 1 23 21 | 10.535 | 1 367 631 | 4,805 | 009 009 009 |
| 112 | 1 25 44 | 10,583 | 1 404 928 | 4,820 | 008 928 571 |
| 113 | 1 27 69 | 10.630 | 1 442 897 | 4.834 | 008 849 558 |
| 114 | 1 29 96 | 10,677 | 1 481 544 | 4,848 | 008 771 930 |
| **115** | 1 32 25 | 10.723 | 1 520 875 | 4,862 | 008 695 652 |
| 116 | 1 34 56 | 10.770 | 1 560 896 | 4.877 | 008 620 690 |
| 117 | 1 36 89 | 10.816 | 1 601 613 | 4.890 | 008 547 009 |
| 118 | 1 39 24 | 10,862 | 1 643 032 | 4,904 | 008 474 576 |
| 119 | 1 41 61 | 10,908 | 1 685 159 | 4,918 | 008 403 361 |
| **120** | 1 44 00 | 10,954 | 1 728 000 | 4 932 | 008 333 333 |
| 121 | 1 46 41 | 11,000 | 1 771 561 | 4,946 | 008 264 463 |
| 122 | 1 48 84 | 11,045 | 1 815 848 | 4,959 | 008 196 721 |
| 123 | 1 51 29 | 11,090 | 1 860 867 | 4,973 | 008 130 081 |
| 124 | 1 53 76 | 11,135 | 1 906 624 | 4,986 | 008 064 516 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **125** | 1 56 25 | 11,180 | 1 953 125 | 5,000 | 008 000 000 |
| 126 | 1 58 76 | 11,225 | 2 000 376 | 5,013 | 007 936 508 |
| 127 | 1 61 29 | 11,269 | 2 048 383 | 5,026 | 007 874 016 |
| 128 | 1 63 84 | 11,313 | 2 097 152 | 5,039 | 007 812 500 |
| 129 | 1 66 41 | 11,357 | 2 146 689 | 5,052 | 007 751 938 |
| **130** | 1 69 00 | 11,401 | 2 197 000 | 5,065 | 007 692 308 |
| 131 | 1 71 61 | 11,445 | 2 248 091 | 5,078 | 007 633 587 |
| 132 | 1 74 24 | 11,489 | 2 299 968 | 5,091 | 007 575 758 |
| 133 | 1 76 89 | 11,532 | 2 352 637 | 5,104 | 007 518 797 |
| 134 | 1 79 56 | 11,575 | 2 406 104 | 5,117 | 007 462 687 |
| **135** | 1 82 25 | 11,618 | 2 460 375 | 5,129 | 007 407 407 |
| 136 | 1 84 96 | 11,661 | 2 515 456 | 5,142 | 007 352 941 |
| 137 | 1 87 69 | 11,704 | 2 571 353 | 5,155 | 007 299 270 |
| 138 | 1 90 44 | 11,747 | 2 628 072 | 5,167 | 007 246 377 |
| 139 | 1 93 21 | 11,789 | 2 685 619 | 5,180 | 007 194 245 |
| **140** | 1 96 00 | 11,832 | 2 744 000 | 5,192 | 007 142 857 |
| 141 | 1 98 81 | 11,874 | 2 803 221 | 5,204 | 007 092 199 |
| 142 | 2 01 64 | 11,916 | 2 863 288 | 5,217 | 007 042 254 |
| 143 | 2 04 49 | 11,958 | 2 924 207 | 5,229 | 006 993 007 |
| 144 | 2 07 36 | 12,000 | 2 985 984 | 5,241 | 006 944 444 |
| **145** | 2 10 25 | 12,041 | 3 048 625 | 5,253 | 006 896 552 |
| 146 | 2 13 16 | 12,083 | 3 112 136 | 5,265 | 006 849 315 |
| 147 | 2 16 09 | 12,124 | 3 176 523 | 5,277 | 006 802 721 |
| 148 | 2 19 04 | 12,165 | 3 241 792 | 5,289 | 006 756 757 |
| 149 | 2 22 01 | 12,206 | 3 307 949 | 5,301 | 006 711 409 |
| **150** | 2 25 00 | 12,247 | 3 375 000 | 5,313 | 006 666 667 |
| 151 | 2 28 01 | 12,288 | 3 442 951 | 5,325 | 006 622 517 |
| 152 | 2 31 04 | 12,328 | 3 511 808 | 5,336 | 006 578 947 |
| 153 | 2 34 09 | 12,369 | 3 581 577 | 5,348 | 006 535 948 |
| 154 | 2 37 16 | 12,409 | 3 652 264 | 5,360 | 006 493 506 |
| **155** | 2 40 25 | 12,449 | 3 723 875 | 5,371 | 006 451 613 |
| 156 | 2 43 36 | 12,490 | 3 796 416 | 5,383 | 006 410 256 |
| 157 | 2 46 49 | 12,529 | 3 869 893 | 5,394 | 006 369 427 |
| 158 | 2 49 64 | 12,569 | 3 944 312 | 5,406 | 006 329 114 |
| 659 | 2 52 81 | 12,609 | 4 019 679 | 5,417 | 006 289 308 |
| **160** | 2 56 00 | 12,649 | 4 096 000 | 5,428 | 006 250 000 |
| 161 | 2 59 21 | 12,688 | 4 173 281 | 5,440 | 006 211 180 |
| 162 | 2 62 44 | 12,727 | 4 251 528 | 5,451 | 006 172 840 |
| 163 | 2 65 69 | 12,767 | 4 330 747 | 5,462 | 006 134 969 |
| 164 | 2 68 96 | 12,806 | 4 410 944 | 5,473 | 006 097 561 |
| **165** | 2 72 25 | 12,845 | 4 492 125 | 5,484 | 006 060 606 |
| 166 | 2 75 56 | 12,884 | 4 574 296 | 5,495 | 006 024 096 |
| 167 | 2 78 89 | 12,922 | 4 657 463 | 5,506 | 005 988 024 |
| 168 | 2 82 24 | 12,961 | 4 741 632 | 5,517 | 005 952 381 |
| 169 | 2 85 61 | 13,000 | 4 826 809 | 5,528 | 005 971 160 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **170** | 2 89 00 | 13.038 | 4 913 000 | 5.539 | 005 882 353 |
| 171 | 2 92 41 | 13.077 | 5 000 211 | 5.550 | 005 847 953 |
| 172 | 2 95 84 | 13.114 | 5 088 448 | 5.561 | 005 813 953 |
| 173 | 2 99 29 | 13.152 | 5 177 717 | 5,572 | 005 780 347 |
| 174 | 3 02 76 | 13,190 | 5 268 024 | 5,582 | 005 747 126 |
| **175** | 3 06 25 | 13.228 | 5 359 375 | 5,593 | 005 714 286 |
| 176 | 3 09 76 | 13.266 | 5 451 776 | 5,604 | 005 681 818 |
| 177 | 3 13 29 | 13.304 | 5 545 233 | 5.614 | 005 649 718 |
| 178 | 3 16 84 | 13.341 | 5 639 752 | 5.625 | 005 617 978 |
| 179 | 3 20 41 | 13.379 | 5 735 339 | 5,635 | 005 586 592 |
| **180** | 3 24 00 | 13.416 | 5 832 000 | 5.646 | 005 555 556 |
| 181 | 3 27 61 | 13.454 | 5 929 741 | 5.656 | 005 524 862 |
| 182 | 3 31 24 | 13,490 | 6 028 568 | 5,667 | 005 494 505 |
| 183 | 3 34 89 | 13,527 | 6 128 487 | 5,677 | 005 464 481 |
| 184 | 3 38 56 | 13,564 | 6 229 504 | 5,687 | 005 434 783 |
| **185** | 3 42 25 | 13.601 | 6 331 625 | 5,698 | 005 405 405 |
| 186 | 3 45 96 | 13.638 | 6 434 856 | 5,708 | 005 376 344 |
| 187 | 3 49 69 | 13.674 | 6 539 203 | 5.718 | 005 347 594 |
| 188 | 3 53 44 | 13.711 | 6 644 672 | 5,728 | 005 319 149 |
| 189 | 3 57 21 | 13,747 | 6 751 269 | 5,738 | 005 291 005 |
| **190** | 3 61 00 | 13.784 | 6 859 000 | 5,748 | 005 263 158 |
| 191 | 3 64 81 | 13.820 | 6 967 871 | 5.758 | 005 235 602 |
| 192 | 3 68 64 | 13.856 | 7 077 888 | 5.768 | 005 208 333 |
| 193 | 3 72 49 | 13.892 | 7 189 517 | 5,778 | 005 181 347 |
| 194 | 3 76 36 | 13,928 | 7 301 384 | 5,788 | 005 154 639 |
| **195** | 3 80 25 | 13.964 | 7 414 875 | 5,798 | 005 128 205 |
| 196 | 3 84 16 | 14,000 | 7 529 536 | 5,808 | 005 102 041 |
| 197 | 3 88 09 | 14.035 | 7 645 373 | 5.818 | 005 076 142 |
| 198 | 3 92 04 | 14.071 | 7 762 392 | 5.828 | 005 050 505 |
| 199 | 3 96 01 | 14,106 | 7 880 599 | 5,838 | 005 025 126 |
| **200** | 4 00 00 | 14.142 | 8 000 000 | 5.848 | 005 000 000 |
| 201 | 4 04 01 | 14,177 | 8 120 601 | 5.857 | 004 975 124 |
| 202 | 4 08 04 | 14.212 | 8 242 408 | 5.867 | 004 950 495 |
| 203 | 4 12 09 | 14.247 | 8 365 427 | 5,877 | 004 926 108 |
| 204 | 4 16 16 | 14,282 | 8 489 664 | 5.886 | 004 901 961 |
| **205** | 4 20 25 | 14.317 | 8 615 125 | 5.896 | 004 878 049 |
| 206 | 4 24 36 | 14.352 | 8 741 816 | 5,905 | 004 854 369 |
| 207 | 4 28 49 | 14,387 | 8 869 743 | 5.915 | 004 830 918 |
| 208 | 4 32 64 | 14,422 | 8 998 912 | 5,924 | 004 807 692 |
| 209 | 4 36 81 | 14.456 | 9 129 329 | 5,934 | 004 784 689 |
| **210** | 4 41 00 | 14,491 | 9 261 000 | 5.943 | 004 761 905 |
| 211 | 4 45 21 | 14.525 | 9.393 931 | 5.953 | 004 739 336 |
| 212 | 4 49 44 | 14,560 | 9 528 128 | 5.962 | 004 716 981 |
| 213 | 4 53 69 | 14.594 | 9 663 597 | 5.972 | 004 694 836 |
| 214 | 4 57 96 | 14.628 | 9 800 344 | 5.981 | 004 672 897 |

| Nomb. | CARRÉS | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **215** | 4 62 25 | 14.662 | 9 938 375 | 5.990 | 004 651 163 |
| 216 | 4 66 56 | 14.696 | 10 077 696 | 6.000 | 004 629 630 |
| 217 | 4 70 89 | 14,730 | 10 218 313 | 6.009 | 004 608 295 |
| 218 | 4 75 24 | 14.764 | 10 360 232 | 6.018 | 004 587 156 |
| 219 | 4 79 61 | 14,798 | 10 503 459 | 6,027 | 004 566 210 |
| **220** | 4 84 00 | 14,832 | 10 648 000 | 6.036 | 004 545 455 |
| 221 | 4 88 41 | 14,866 | 10 793 861 | 6.046 | 004 524 887 |
| 222 | 4 92 84 | 14,899 | 10 941 048 | 6.055 | 004 504 505 |
| 223 | 4 97 29 | 14,933 | 11 089 567 | 6.064 | 004 484 305 |
| 224 | 5 01 76 | 14,966 | 11 239 424 | 6,073 | 004 464 286 |
| **225** | 5 06 25 | 15.000 | 11 390 625 | 6,082 | 004 444 444 |
| 226 | 5 10 76 | 15.033 | 11 543 176 | 6,099 | 004 424 779 |
| 227 | 5 15 29 | 15.066 | 11 697 083 | 6.100 | 004 405 286 |
| 228 | 5 19 84 | 15.099 | 11 852 352 | 6.109 | 004 385 965 |
| 229 | 5 24 41 | 15,132 | 12 008 989 | 6,118 | 004 366 812 |
| **230** | 5 29 00 | 15,165 | 12 167 000 | 6,126 | 004 347 826 |
| 231 | 5 33 61 | 15,198 | 12 326 391 | 6,135 | 004 329 004 |
| 232 | 5 38 24 | 15,231 | 12 487 168 | 6,144 | 004 310 345 |
| 233 | 5 42 89 | 15,264 | 12 649 337 | 6.153 | 004 291 845 |
| 234 | 5 47 56 | 15,297 | 12 842 904 | 6,162 | 004 273 504 |
| **235** | 5 52 25 | 15,329 | 12 977 875 | 6.171 | 004 255 319 |
| 236 | 5 56 96 | 15.362 | 13 144 256 | 6,179 | 004 237 288 |
| 237 | 5 61 69 | 15,394 | 13 312 053 | 6,188 | 004 219 409 |
| 238 | 5 66 44 | 15,427 | 13 481 272 | 6.197 | 004 201 681 |
| 239 | 5 71 21 | 15,459 | 13 651 919 | 6,205 | 004 184 100 |
| **240** | 5 76 00 | 15,491 | 13 824 000 | 6,214 | 004 166 667 |
| 241 | 5 80 81 | 15,524 | 13 997 521 | 6,223 | 004 149 378 |
| 242 | 5 85 64 | 15.556 | 14 172 488 | 6,231 | 004 132 231 |
| 243 | 5 90 49 | 15.588 | 14 348 907 | 6.240 | 004 115 226 |
| 244 | 5 95 36 | 15,620 | 14 526 784 | 6,248 | 004 098 361 |
| **245** | 6 00 25 | 15,652 | 14 706 125 | 6,257 | 004 081 633 |
| 246 | 6 05 16 | 15,684 | 14 886 936 | 6,265 | 004 065 041 |
| 247 | 6 10 09 | 15,716 | 15 069 223 | 6,274 | 004 048 583 |
| 248 | 6 15 04 | 15,748 | 15 252 992 | 6.282 | 004 032 258 |
| 249 | 6 20 01 | 15,779 | 15 438 249 | 6,291 | 004 016 064 |
| **250** | 6 25 00 | 15,811 | 15 625 000 | 6.299 | 004 000 000 |
| 251 | 6 30 01 | 15,842 | 15 813 251 | 6.307 | 003 984 064 |
| 252 | 6 35 04 | 15,874 | 16 003 008 | 6.316 | 003 968 254 |
| 253 | 6 40 09 | 15,905 | 16 194 277 | 6.324 | 003 952 569 |
| 254 | 6 45 16 | 15,937 | 16 387 064 | 6,333 | 003 937 008 |
| **255** | 6 50 25 | 15,968 | 16 581 375 | 6.341 | 003 921 569 |
| 256 | 6 55 36 | 16.000 | 16 777 216 | 6,349 | 003 906 250 |
| 257 | 6 60 49 | 16,031 | 16 974 593 | 6,357 | 003 891 051 |
| 258 | 6 65 64 | 16.062 | 17 173 512 | 6,366 | 003 875 969 |
| 259 | 6 70 81 | 16,093 | 17 373 979 | 6,374 | 003 861 004 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **260** | 6 76 00 | 16.124 | 17 576 000 | 6.382 | 003 846 154 |
| 261 | 6 81 21 | 16.155 | 17 779 581 | 6.390 | 003 831 418 |
| 262 | 6 86 44 | 16.186 | 17 984 728 | 6.398 | 003 816 794 |
| 263 | 6 91 69 | 16.217 | 18 191 447 | 6.406 | 003 802 281 |
| 264 | 6 96 96 | 16.248 | 18 399 744 | 6,415 | 003 787 879 |
| **265** | 7 02 25 | 16.278 | 18 609 625 | 6.423 | 003 773 585 |
| 266 | 7 07 56 | 16.309 | 18 821 096 | 6.431 | 003 759 398 |
| 267 | 7 12 89 | 16.340 | 19 034 163 | 6.439 | 003 745 318 |
| 268 | 7 18 24 | 16.370 | 19 248 832 | 6.447 | 003 731 343 |
| 269 | 7 23 61 | 16.401 | 19 465 109 | 6.455 | 003 717 472 |
| **270** | 7 29 00 | 16.431 | 19 683 000 | 6.463 | 003 703 704 |
| 271 | 7 34 41 | 16.462 | 19 902 511 | 6.471 | 003 690 037 |
| 272 | 7 39 84 | 16.492 | 20 123 648 | 6.479 | 003 676 471 |
| 273 | 7 45 29 | 16.522 | 20 346 417 | 6.487 | 003 663 004 |
| 274 | 7 50 76 | 16.552 | 20 570 824 | 6.495 | 003 649 635 |
| **275** | 7 56 25 | 16.583 | 20 796 875 | 6.502 | 003 636 364 |
| 276 | 7 61 76 | 16.613 | 21 024 576 | 6.510 | 003 623 188 |
| 277 | 7 67 29 | 16.643 | 21 253 933 | 6.518 | 003 610 108 |
| 278 | 7 72 84 | 16.678 | 21 484 952 | 6.526 | 003 597 122 |
| 279 | 7 78 41 | 16.703 | 21 717 639 | 6.534 | 003 584 229 |
| **280** | 7 84 00 | 16.733 | 21 952 000 | 6.542 | 003 571 429 |
| 281 | 7 89 61 | 16.763 | 22 188 041 | 6.549 | 003 558 719 |
| 282 | 7 95 24 | 16.792 | 22 425 768 | 6.557 | 003 546 099 |
| 283 | 8 00 89 | 16.822 | 22 665 187 | 6.565 | 003 533 569 |
| 284 | 8 05 56 | 16.852 | 22 906 304 | 6.573 | 003 521 127 |
| **285** | 8 12 25 | 16.881 | 23 149 125 | 6.580 | 003 508 772 |
| 286 | 8 17 96 | 16.911 | 23 393 656 | 6.588 | 003 496 503 |
| 287 | 8 23 69 | 16.941 | 23 639 903 | 6.596 | 003 484 321 |
| 288 | 8 29 44 | 16.970 | 23 887 872 | 6.603 | 003 472 222 |
| 289 | 8 35 21 | 17.000 | 24 137 569 | 6.611 | 003 460 208 |
| **290** | 8 41 00 | 17.029 | 24 389 000 | 6.619 | 003 448 276 |
| 291 | 8 46 81 | 17.059 | 24 642 171 | 6.627 | 003 436 426 |
| 292 | 8 52 64 | 17.088 | 24 897 088 | 6.634 | 003 424 658 |
| 293 | 8 58 49 | 17.117 | 25 153 757 | 6.642 | 003 412 969 |
| 294 | 8 64 36 | 17.146 | 25 412 184 | 6.649 | 003 401 361 |
| **295** | 8 70 25 | 17.176 | 25 672 375 | 6.657 | 003 389 831 |
| 296 | 8 76 16 | 17.205 | 25 934 336 | 6.664 | 003 378 378 |
| 297 | 8 82 09 | 17.234 | 26 198 073 | 6.672 | 003 367 003 |
| 298 | 8 88 04 | 17.263 | 26 463 592 | 6.679 | 003 355 705 |
| 299 | 8 94 01 | 17.292 | 26 730 899 | 6.687 | 003 344 482 |
| **300** | 9 00 00 | 17.320 | 27 000 000 | 6.694 | 003 333 333 |
| 301 | 9 06 01 | 17.349 | 27 270 901 | 6.702 | 003 322 259 |
| 302 | 9 12 04 | 17.378 | 27 543 608 | 6.709 | 003 311 258 |
| 303 | 9 18 09 | 17.407 | 27 818 127 | 6.717 | 003 301 330 |
| 304 | 9 24 16 | 17.436 | 28 094 464 | 6.724 | 003 289 474 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **305** | 9 30 25 | 17,464 | 28 372 625 | 6,731 | 003 278 689 |
| 306 | 9 36 36 | 17,493 | 28 652 616 | 6,739 | 003 267 974 |
| 307 | 9 42 49 | 17,521 | 28 934 413 | 6,746 | 003 257 329 |
| 308 | 9 48 64 | 17,549 | 29 218 112 | 6,753 | 003 246 753 |
| 309 | 9 54 81 | 17,578 | 29 503 629 | 6,761 | 003 236 246 |
| **310** | 9 61 00 | 17,607 | 29 791 000 | 6 768 | 003 225 806 |
| 311 | 9 67 21 | 17,635 | 30 080 231 | ,775 | 003 215 434 |
| 312 | 9 73 44 | 17,663 | 30 371 328 | 6,782 | 003 205 128 |
| 313 | 9 79 69 | 17,692 | 30 664 297 | 6,789 | 003 194 888 |
| 314 | 9 85 96 | 17,720 | 30 959 144 | 6,797 | 003 184 713 |
| **315** | 9 92 25 | 17,748 | 31 255 875 | 6,804 | 003 174 603 |
| 316 | 9 98 56 | 17,776 | 31 554 496 | 6,811 | 003 164 557 |
| 317 | 10 04 89 | 17,804 | 31 855 013 | 6,818 | 003 154 574 |
| 318 | 10 11 24 | 17,832 | 32 157 432 | 6,826 | 003 144 654 |
| 319 | 10 17 61 | 17,860 | 32 461 759 | 6,833 | 003 134 796 |
| **320** | 10 24 00 | 17,888 | 32 768 000 | 6,840 | 003 125 000 |
| 321 | 10 30 41 | 17,916 | 33 076 161 | 6,847 | 003 115 265 |
| 322 | 10 36 84 | 17,944 | 33 386 248 | 6,854 | 003 105 590 |
| 323 | 10 43 29 | 17,972 | 33 698 267 | 6,861 | 003 095 975 |
| 324 | 10 49 76 | 18,000 | 34 012 224 | 6,868 | 003 086 420 |
| **325** | 10 56 25 | 18,028 | 34 328 125 | 6,875 | 003 076 923 |
| 326 | 10 62 76 | 18,055 | 34 645 976 | 6,882 | 003 067 485 |
| 327 | 10 69 29 | 18,083 | 34 965 783 | 6,889 | 003 048 104 |
| 328 | 10 75 84 | 18,111 | 35 287 552 | 6,896 | 003 048 780 |
| 329 | 10 82 41 | 18,138 | 35 611 289 | 6,903 | 003 039 514 |
| **330** | 10 89 00 | 18,166 | 35 937 000 | 6,910 | 003 030 303 |
| 331 | 10 95 61 | 18,193 | 36 264 691 | 6,917 | 003 021 148 |
| 332 | 11 02 24 | 18,221 | 36 594 368 | 6,924 | 003 012 048 |
| 333 | 11 08 89 | 18,248 | 36 926 037 | 6,931 | 003 003 003 |
| 334 | 11 15 56 | 18,276 | 37 259 704 | 6,938 | 002 994 012 |
| **335** | 11 22 25 | 18,303 | 37 595 375 | 6,945 | 002 985 075 |
| 336 | 11 28 96 | 18,330 | 37 933 056 | 6,952 | 002 976 190 |
| 337 | 11 35 69 | 18,357 | 38 272 753 | 6,959 | 002 967 359 |
| 338 | 11 42 44 | 18,385 | 38 614 472 | 6,966 | 002 958 580 |
| 339 | 11 49 21 | 18,412 | 38 958 219 | 6,973 | 002 949 853 |
| **340** | 11 56 00 | 18,439 | 39 304 000 | 6,979 | 002 941 176 |
| 341 | 11 62 81 | 18,466 | 39 651 821 | 6,986 | 002 932 551 |
| 342 | 11 69 64 | 18,493 | 40 001 688 | 6,993 | 002 923 977 |
| 343 | 11 76 49 | 18,520 | 40 353 607 | 7,000 | 002 915 452 |
| 344 | 11 83 35 | 18,547 | 40 707 584 | 7,007 | 002 906 977 |
| **345** | 11 90 25 | 18,574 | 41 063 625 | 7,014 | 002 898 551 |
| 346 | 11 97 16 | 18,601 | 41 421 736 | 7,020 | 002 890 173 |
| 347 | 12 04 09 | 18,628 | 41 781 923 | 7,027 | 002 881 844 |
| 348 | 12 11 04 | 18,655 | 42 144 192 | 7,034 | 002 873 563 |
| 349 | 12 18 01 | 18,681 | 42 508 549 | 7,040 | 002 865 330 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **350** | 12 25 00 | 18,708 | 42 875 000 | 7,047 | 002 857 143 |
| 351 | 12 32 01 | 18,735 | 43 243 551 | 7,054 | 002 849 003 |
| 352 | 12 39 04 | 18,762 | 43 614 208 | 7,061 | 002 840 909 |
| 353 | 12 46 09 | 18,788 | 43 986 977 | 7,067 | 002 832 861 |
| 354 | 12 53 16 | 18,815 | 44 361 864 | 7,074 | 002 824 859 |
| **355** | 12 60 25 | 18,841 | 44 738 875 | 7,081 | 002 816 901 |
| 356 | 12 67 36 | 18,868 | 45 118 016 | 7,087 | 002 808 989 |
| 357 | 12 74 49 | 18,894 | 45 499 293 | 7,094 | 002 801 120 |
| 358 | 12 81 64 | 18,921 | 45 882 712 | 7,101 | 002 793 296 |
| 259 | 12 88 81 | 18,947 | 46 268 279 | 7,107 | 002 785 515 |
| **360** | 12 96 00 | 18,974 | 46 656 000 | 7,114 | 002 777 778 |
| 361 | 13 03 21 | 19,000 | 47 045 881 | 7,120 | 002 770 083 |
| 362 | 13 10 44 | 19,026 | 47 437 928 | 7,127 | 002 762 431 |
| 363 | 13 17 69 | 19,052 | 47 832 147 | 7,133 | 002 754 821 |
| 364 | 13 24 96 | 19,079 | 48 228 544 | 7,140 | 002 747 253 |
| **365** | 13 32 25 | 19,105 | 48 627 125 | 7,146 | 002 739 726 |
| 366 | 13 39 56 | 19,131 | 49 027 896 | 7,153 | 002 732 240 |
| 367 | 13 46 89 | 19,157 | 49 430 863 | 7,159 | 002 724 796 |
| 368 | 13 54 24 | 19,183 | 49 836 032 | 7,166 | 002 747 391 |
| 369 | 13 61 61 | 19,209 | 50 243 409 | 7,172 | 002 710 027 |
| **370** | 13 69 00 | 19,235 | 50 653 000 | 7,179 | 002 702 703 |
| 371 | 13 76 41 | 19,261 | 51 064 811 | 7,185 | 002 695 448 |
| 372 | 13 83 84 | 19,287 | 51 478 848 | 7,192 | 002 688 172 |
| 373 | 13 91 29 | 19,313 | 51 895 117 | 7,198 | 002 680 965 |
| 374 | 13 98 76 | 19,339 | 52 313 624 | 7,205 | 002 673 797 |
| **375** | 14 06 25 | 19,365 | 52 734 375 | 7,211 | 002 666 667 |
| 376 | 14 13 76 | 19,391 | 53 157 376 | 7,218 | 002 659 574 |
| 377 | 14 21 29 | 19,416 | 53 582 633 | 7,224 | 002 652 520 |
| 378 | 14 28 84 | 19,442 | 54 010 152 | 7,230 | 002 645 503 |
| 379 | 14 36 41 | 19,468 | 54 439 939 | 7,237 | 002 638 521 |
| **380** | 14 44 00 | 19,493 | 54 872 000 | 7,243 | 002 631 579 |
| 381 | 14 51 61 | 19,519 | 55 306 341 | 7,249 | 002 624 672 |
| 382 | 14 59 24 | 19,545 | 55 742 968 | 7,256 | 002 617 801 |
| 383 | 14 66 89 | 19,570 | 56 181 887 | 7,262 | 002 610 966 |
| 384 | 14 74 56 | 19,596 | 56 623 104 | 7,268 | 022 604 167 |
| **385** | 14 82 25 | 19,621 | 57 066 625 | 7,275 | 002 597 403 |
| 386 | 14 89 96 | 19,647 | 57 512 456 | 7,281 | 002 590 674 |
| 387 | 14 97 69 | 19,672 | 57 960 603 | 7,287 | 002 583 979 |
| 388 | 15 05 44 | 19,698 | 58 411 072 | 7,294 | 002 577 320 |
| 389 | 15 13 21 | 19,723 | 58 863 869 | 7,300 | 002 570 694 |
| **390** | 15 21 00 | 19,748 | 59 319 000 | 7,306 | 002 564 103 |
| 391 | 15 28 81 | 19,774 | 59 776 471 | 7,312 | 002 557 545 |
| 392 | 15 36 64 | 19,799 | 60 236 288 | 7,319 | 002 551 020 |
| 393 | 15 44 49 | 19,824 | 60 698 457 | 7,325 | 002 544 529 |
| 394 | 15 52 36 | 19,849 | 61 162 984 | 7,331 | 002 538 071 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **395** | 15 60 25 | 19.875 | 61 629 875 | 7.337 | 002 531 646 |
| 396 | 15 68 16 | 19.900 | 62 099 136 | 7.343 | 002 525 253 |
| 397 | 15 76 09 | 19.925 | 62 570 773 | 7.349 | 002 518 892 |
| 398 | 15 84 04 | 19.950 | 63 044 792 | 7.356 | 002 512 563 |
| 399 | 15 92 01 | 19.975 | 63 521 199 | 7,362 | 002 506 266 |
| **400** | 16 00 00 | 20.000 | 64 000 000 | 7.368 | 002 500 000 |
| 401 | 16 08 01 | 20.025 | 64 481 201 | 7.374 | 002 493 766 |
| 402 | 16 16 04 | 20.049 | 64 964 808 | 7.380 | 002 487 562 |
| 403 | 16 24 09 | 20.075 | 65 450 827 | 7.386 | 002 481 390 |
| 404 | 16 32 16 | 20,099 | 65 939 264 | 7,392 | 002 475 248 |
| **405** | 16 40 25 | 20,125 | 66 430 125 | 7.399 | 002 469 136 |
| 406 | 16 48 36 | 20.149 | 66 923 416 | 7.405 | 002 463 054 |
| 407 | 16 56 49 | 20.174 | 67 419 143 | 7.411 | 002 457 002 |
| 408 | 16 64 64 | 20.199 | 67 917 312 | 7.417 | 002 450 980 |
| 409 | 16 72 81 | 20,223 | 68 417 929 | 7,423 | 002 444 988 |
| **410** | 16 81 00 | 20,248 | 68 921 000 | 7.429 | 002 439 024 |
| 411 | 16 89 21 | 20.273 | 69 426 531 | 7.435 | 002 433 090 |
| 412 | 16 97 44 | 20.298 | 69 934 528 | 7,441 | 002 427 184 |
| 413 | 17 05 69 | 20,322 | 70 444 997 | 7,447 | 002 421 308 |
| 414 | 17 13 96 | 20,347 | 70 957 944 | 7,453 | 002 415 459 |
| **415** | 17 22 25 | 20.371 | 71 473 375 | 7.459 | 002 409 639 |
| 416 | 17 30 56 | 20,396 | 71 991 296 | 7.465 | 002 403 846 |
| 417 | 17 38 89 | 20.421 | 72 511 713 | 7,471 | 002 398 082 |
| 418 | 17 47 24 | 20.445 | 73 034 632 | 7.477 | 002 392 344 |
| 419 | 17 55 61 | 20,469 | 73 560 059 | 7,483 | 002 386 635 |
| **420** | 17 64 00 | 20.494 | 74 088 000 | 7.489 | 002 380 952 |
| 421 | 17 72 41 | 20.518 | 74 618 461 | 7.495 | 002 375 297 |
| 422 | 17 80 84 | 20.543 | 75 151 448 | 7.501 | 002 369 668 |
| 423 | 17 89 29 | 20.567 | 75 686 967 | 7.507 | 002 364 066 |
| 424 | 17 97 76 | 20,591 | 76 225 024 | 7,513 | 002 358 491 |
| **425** | 18 06 25 | 20.615 | 76 765 625 | 7.518 | 002 352 941 |
| 426 | 18 14 76 | 20,639 | 77 308 776 | 7.524 | 002 347 418 |
| 427 | 18 23 29 | 20.664 | 77 854 483 | 7,530 | 002 341 920 |
| 428 | 18 31 84 | 20.688 | 78 402 752 | 7.536 | 002 336 449 |
| 429 | 18 40 41 | 20,712 | 78 953 589 | 7,542 | 002 331 002 |
| **430** | 18 49 00 | 20.736 | 79 507 000 | 7.548 | 002 325 581 |
| 431 | 18 57 61 | 20,760 | 80 062 991 | 7.554 | 002 320 186 |
| 432 | 18 66 24 | 20,785 | 80 621 568 | 7.559 | 002 314 815 |
| 433 | 18 74 89 | 20.809 | 81 182 737 | 7.565 | 002 309 469 |
| 434 | 18 83 56 | 20,833 | 81 746 504 | 7,571 | 002 304 147 |
| **435** | 18 92 25 | 20,857 | 82 312 875 | 7.577 | 002 298 851 |
| 436 | 19 00 96 | 20,881 | 82 881 856 | 7.583 | 002 293 578 |
| 437 | 19 09 69 | 20,904 | 83 453 453 | 7.588 | 002 288 330 |
| 438 | 19 18 44 | 20.928 | 84 027 672 | 7.594 | 002 283 105 |
| 439 | 19 27 21 | 20.952 | 84 604 519 | 7,600 | 002 277 904 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **440** | 19 36 00 | 20,976 | 85 184 000 | 7,606 | 002 272 727 |
| 441 | 19 44 81 | 21,000 | 85 766 121 | 7,612 | 002 267 574 |
| 442 | 19 53 64 | 21,024 | 86 350 888 | 7,617 | 002 262 443 |
| 443 | 19 62 49 | 21,047 | 86 938 307 | 7,623 | 002 257 336 |
| 444 | 19 71 36 | 21,071 | 87 528 384 | 7,629 | 002 252 252 |
| **445** | 19 80 25 | 21,095 | 88 121 125 | 7,635 | 002 247 191 |
| 446 | 19 89 16 | 21,119 | 88 716 536 | 7,640 | 002 242 152 |
| 447 | 19 98 09 | 21,142 | 89 314 623 | 7,646 | 002 237 136 |
| 448 | 20 07 04 | 21,166 | 89 915 392 | 7,652 | 002 232 143 |
| 449 | 20 16 01 | 21,189 | 90 518 849 | 7,657 | 002 227 171 |
| **450** | 20 25 00 | 21,213 | 91 125 000 | 7,663 | 002 222 222 |
| 451 | 20 34 01 | 21,237 | 91 733 851 | 7,669 | 002 217 295 |
| 452 | 20 43 04 | 21,260 | 92 345 408 | 7,674 | 002 212 389 |
| 453 | 20 52 09 | 21,284 | 92 959 677 | 7,680 | 002 207 506 |
| 454 | 20 61 16 | 21,307 | 93 576 664 | 7,686 | 002 202 643 |
| **455** | 20 70 25 | 21,331 | 94 196 375 | 7,691 | 002 197 802 |
| 456 | 20 79 36 | 21,354 | 94 818 816 | 7,697 | 002 192 982 |
| 457 | 20 88 49 | 21,377 | 95 443 993 | 7,703 | 002 188 184 |
| 458 | 20 97 64 | 21,401 | 96 071 912 | 7,708 | 002 183 406 |
| 459 | 21 06 81 | 21,424 | 96 702 579 | 7,714 | 002 178 649 |
| **460** | 21 16 00 | 21,447 | 97 336 000 | 7,719 | 002 173 913 |
| 461 | 21 25 21 | 21,471 | 97 972 181 | 7,725 | 002 169 197 |
| 462 | 21 34 44 | 21,494 | 98 611 128 | 7,731 | 002 164 502 |
| 463 | 21 43 69 | 21,517 | 99 252 847 | 7,736 | 002 159 827 |
| 464 | 21 52 96 | 21,541 | 99 897 344 | 7,742 | 002 155 172 |
| **465** | 21 62 25 | 21,564 | 100 544 625 | 7,747 | 002 150 538 |
| 466 | 21 71 56 | 21,587 | 101 194 696 | 7,753 | 002 145 923 |
| 467 | 21 80 89 | 21,610 | 101 847 563 | 7,758 | 002 141 328 |
| 468 | 21 90 24 | 21,633 | 102 503 232 | 7,764 | 002 136 752 |
| 469 | 21 99 61 | 21,656 | 103 161 709 | 7,769 | 002 132 196 |
| **470** | 22 09 00 | 21,679 | 103 823 000 | 7,775 | 002 127 660 |
| 471 | 22 18 41 | 21,702 | 104 487 111 | 7,780 | 002 123 142 |
| 472 | 22 27 84 | 21,725 | 105 154 048 | 7,786 | 002 118 644 |
| 473 | 22 37 29 | 21,749 | 105 823 817 | 7,791 | 002 114 165 |
| 474 | 22 46 76 | 21,771 | 106 496 424 | 7,797 | 002 109 705 |
| **475** | 22 56 25 | 21,794 | 107 171 875 | 7,802 | 002 105 263 |
| 476 | 22 65 76 | 21,817 | 107 850 176 | 7,808 | 002 100 840 |
| 477 | 22 75 29 | 21,840 | 108 531 333 | 7,813 | 002 096 486 |
| 478 | 22 84 84 | 21,863 | 109 215 352 | 7,819 | 002 092 050 |
| 479 | 22 94 41 | 21,886 | 109 902 239 | 7,824 | 002 087 683 |
| **480** | 23 04 00 | 21,909 | 110 592 000 | 7,830 | 002 083 333 |
| 481 | 23 13 61 | 21,932 | 111 284 641 | 7,835 | 002 079 002 |
| 482 | 23 23 24 | 21,954 | 111 980 168 | 7,841 | 002 074 689 |
| 483 | 23 32 89 | 21,977 | 112 678 587 | 7,846 | 002 070 393 |
| 484 | 23 42 56 | 22,000 | 113 379 904 | 7,851 | 002 066 116 |

| Nomb. | CARRÉS | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **485** | 23 52 25 | 22.023 | 114 084 125 | 7.857 | 002 061 856 |
| 486 | 23 61 96 | 22.045 | 114 791 256 | 7.862 | 002 057 613 |
| 487 | 23 71 69 | 22.069 | 115 501 303 | 7.868 | 002 053 388 |
| 488 | 23 81 44 | 22.091 | 116 214 272 | 7.873 | 002 049 180 |
| 489 | 23 91 21 | 22.113 | 116 930 169 | 7,878 | 002 044 990 |
| **490** | 24 01 00 | 22,136 | 117 649 000 | 7.884 | 002 040 816 |
| 491 | 24 10 81 | 22,158 | 118 370 771 | 7.889 | 002 036 660 |
| 492 | 24 20 64 | 22.181 | 119 095 488 | 7.894 | 002 032 520 |
| 493 | 24 30 49 | 22,204 | 119 823 157 | 7.899 | 002 028 398 |
| 494 | 24 40 36 | 22,226 | 120 553 784 | 7.905 | 002 024 291 |
| **495** | 24 50 25 | 22,248 | 121 287 375 | 7.910 | 002 020 202 |
| 496 | 24 60 16 | 22.271 | 122 023 936 | 7.915 | 002 016 129 |
| 497 | 24 70 09 | 22.293 | 122 763 473 | 7.921 | 002 012 072 |
| 498 | 24 80 04 | 22,316 | 123 505 992 | 7.926 | 002 008 032 |
| 499 | 24 90 01 | 22.338 | 124 251 499 | 7,932 | 002 004 008 |
| **500** | 25 00 00 | 22.361 | 125 000 000 | 7,937 | 002 000 000 |
| 501 | 25 10 01 | 22,383 | 125 751 501 | 7.942 | 001 996 008 |
| 502 | 25 20 04 | 22.405 | 126 506 008 | 7.947 | 001 992 032 |
| 503 | 25 30 09 | 22.428 | 127 263 527 | 7,953 | 001 988 072 |
| 504 | 25 40 16 | 22,449 | 128 024 064 | 7,958 | 001 984 127 |
| **505** | 25 50 25 | 22.472 | 128 787 625 | 7,963 | 001 980 198 |
| 506 | 25 60 36 | 22,494 | 129 554 216 | 7,969 | 001 976 285 |
| 507 | 25 70 49 | 22.517 | 130 323 843 | 7,974 | 001 972 387 |
| 508 | 25 80 64 | 22.539 | 131 096 512 | 7,979 | 001 968 504 |
| 509 | 25 90 81 | 22,561 | 131 872 229 | 7,984 | 001 964 637 |
| **510** | 26 01 00 | 22.583 | 132 651 000 | 7.989 | 001 960 784 |
| 511 | 26 11 21 | 22,605 | 133 432 831 | 7,995 | 001 956 947 |
| 512 | 26 21 44 | 22,627 | 134 217 728 | 8,000 | 001 953 125 |
| 513 | 26 31 69 | 22,649 | 135 005 697 | 8.005 | 001 949 318 |
| 514 | 26 41 96 | 22,671 | 135 796 744 | 8,010 | 001 945 525 |
| **515** | 26 52 25 | 22,694 | 136 590 875 | 8.016 | 001 941 748 |
| 516 | 26 62 56 | 22.716 | 137 388 096 | 8.021 | 001 937 984 |
| 517 | 26 72 89 | 22.738 | 138 188 413 | 8.026 | 001 934 236 |
| 518 | 26 83 24 | 22.759 | 138 991 832 | 8.031 | 001 930 502 |
| 519 | 26 93 61 | 22,782 | 139 798 359 | 8,036 | 001 926 782 |
| **520** | 27 04 00 | 22,803 | 140 608 000 | 8.041 | 001 923 077 |
| 521 | 27 14 41 | 22,825 | 141 420 761 | 8.047 | 001 919 386 |
| 522 | 27 24 84 | 22,847 | 142 236 648 | 8,052 | 001 915 709 |
| 523 | 27 35 29 | 22,869 | 143 055 667 | 8.057 | 001 912 046 |
| 524 | 27 45 76 | 22,891 | 143 877 824 | 8,062 | 001 908 397 |
| **525** | 27 56 25 | 22.913 | 144 703 125 | 8.067 | 001 904 762 |
| 526 | 27 66 76 | 22,935 | 145 531 576 | 8.072 | 001 901 141 |
| 527 | 27 77 29 | 22.956 | 146 363 183 | 8.077 | 001 897 533 |
| 528 | 27 87 84 | 22.978 | 147 197 952 | 8,082 | 001 893 939 |
| 529 | 27 98 41 | 23,000 | 148 035 889 | 8,087 | 001 890 359 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **530** | 28 09 00 | 23.022 | 148 877 000 | 8.093 | 001 886 792 |
| 531 | 28 19 61 | 23.043 | 149 724 291 | 8.098 | 001 883 239 |
| 532 | 28 30 24 | 23.065 | 150 568 798 | 8.103 | 001 879 699 |
| 533 | 28 40 89 | 23.087 | 151 419 437 | 8.108 | 001 876 173 |
| 534 | 28 51 56 | 23,108 | 152 273 304 | 8.113 | 001 872 659 |
| **535** | 28 62 95 | 23,130 | 153 130 375 | 8.118 | 001 869 159 |
| 536 | 28 72 96 | 23.152 | 153 990 656 | 8.123 | 001 865 672 |
| 537 | 28 83 69 | 23,173 | 154 854 153 | 8.128 | 001 862 197 |
| 538 | 28 94 44 | 23,195 | 155 720 872 | 8.133 | 001 858 736 |
| 539 | 29 05 21 | 23,216 | 156 590 819 | 8.138 | 001 855 288 |
| **540** | 29 16 00 | 23.238 | 157 464 000 | 8.143 | 001 851 852 |
| 541 | 29 26 81 | 23.259 | 158 340 421 | 8.148 | 001 848 429 |
| 542 | 29 37 64 | 23,281 | 159 220 088 | 8.153 | 001 845 018 |
| 543 | 29 48 49 | 23.302 | 160 103 007 | 8.158 | 001 841 621 |
| 544 | 29 59 36 | 23,324 | 160 989 184 | 8.163 | 001 838 235 |
| **545** | 29 70 25 | 23.345 | 161 878 625 | 8.168 | 001 834 862 |
| 546 | 29 81 16 | 23,367 | 162 771 336 | 8.173 | 001 831 502 |
| 547 | 29 92 09 | 23.388 | 163 667 323 | 8.178 | 001 828 154 |
| 548 | 30 03 04 | 23.409 | 164 566 592 | 8.183 | 001 824 818 |
| 549 | 30 14 01 | 23,431 | 165 469 149 | 8,188 | 001 821 494 |
| **550** | 30 25 00 | 23,452 | 166 375 000 | 8.193 | 001 818 182 |
| 551 | 30 36 01 | 23,473 | 167 284 151 | 8.198 | 001 814 882 |
| 552 | 30 47 04 | 23.495 | 168 196 608 | 8.203 | 001 811 594 |
| 553 | 30 58 09 | 23.516 | 169 112 377 | 8.208 | 001 808 318 |
| 554 | 30 69 16 | 23,537 | 170 031 464 | 8,213 | 001 805 054 |
| **555** | 30 80 25 | 23.558 | 170 953 875 | 8,218 | 001 801 802 |
| 556 | 30 91 36 | 23.579 | 171 879 616 | 8,223 | 001 798 561 |
| 557 | 31 02 49 | 23.601 | 172 808 693 | 8.228 | 001 795 332 |
| 558 | 31 13 64 | 23.622 | 173 741 112 | 8,233 | 001 792 115 |
| 559 | 31 24 81 | 23,643 | 174 676 879 | 8,238 | 001 788 909 |
| **560** | 31 36 00 | 23,664 | 175 616 000 | 8,242 | 001 785 714 |
| 561 | 31 47 21 | 23.685 | 176 558 481 | 8,247 | 001 782 531 |
| 562 | 31 58 44 | 23.706 | 177 504 328 | 8,252 | 001 779 359 |
| 563 | 31 69 69 | 23,728 | 178 453 547 | 8,257 | 001 776 199 |
| 564 | 31 80 96 | 23,749 | 179 406 144 | 8,262 | 001 773 050 |
| **565** | 31 92 25 | 23,769 | 180 362 125 | 8.267 | 001 769 912 |
| 566 | 32 03 56 | 23.791 | 181 321 496 | 8.272 | 001 766 784 |
| 567 | 32 14 89 | 23.812 | 182 284 263 | 8,277 | 001 763 668 |
| 568 | 32 26 24 | 23.833 | 183 250 432 | 8.282 | 001 760 563 |
| 569 | 32 37 61 | 23,854 | 184 220 009 | 8,286 | 001 757 469 |
| **570** | 32 49 00 | 23,875 | 185 193 000 | 8.291 | 001 754 386 |
| 571 | 32 60 41 | 23.896 | 186 169 411 | 8,296 | 001 751 313 |
| 572 | 32 71 84 | 23.916 | 187 149 248 | 8.301 | 001 748 252 |
| 573 | 32 83 29 | 23,937 | 188 132 517 | 8.306 | 001 745 201 |
| 574 | 32 94 76 | 23,958 | 189 119 224 | 8,311 | 001 742 160 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **575** | 33 06 25 | 23,979 | 190 109 375 | 8,315 | 001 739 130 |
| 576 | 33 17 76 | 24,000 | 191 102 976 | 8,320 | 001 736 111 |
| 577 | 33 29 29 | 24,021 | 192 100 033 | 8,325 | 001 733 102 |
| 578 | 33 40 84 | 24,042 | 193 100 552 | 8,330 | 001 730 104 |
| 579 | 33 52 41 | 24,062 | 194 104 539 | 8,335 | 001 727 116 |
| **580** | 33 64 00 | 24,083 | 195 112 000 | 8,339 | 001 724 138 |
| 581 | 33 75 61 | 24,104 | 196 122 941 | 8,344 | 001 721 170 |
| 582 | 33 87 24 | 24,125 | 197 137 368 | 8,349 | 001 718 213 |
| 583 | 33 98 89 | 24,145 | 198 155 287 | 8,354 | 001 715 266 |
| 584 | 34 10 56 | 24,166 | 199 176 704 | 8,359 | 001 712 329 |
| **585** | 34 22 25 | 24,187 | 200 201 625 | 8,363 | 001 709 402 |
| 586 | 34 33 96 | 24,207 | 201 230 056 | 8,368 | 001 706 485 |
| 587 | 34 45 69 | 24,228 | 202 262 003 | 8,373 | 001 703 578 |
| 588 | 34 57 44 | 24,249 | 203 297 472 | 8,378 | 001 700 680 |
| 589 | 34 69 21 | 24,269 | 204 336 469 | 8,382 | 001 697 793 |
| **590** | 34 81 00 | 24,290 | 205 379 000 | 8,387 | 001 694 915 |
| 591 | 34 92 81 | 24,310 | 206 425 071 | 8,392 | 001 692 047 |
| 592 | 35 04 64 | 24,331 | 207 474 688 | 8,397 | 001 689 189 |
| 593 | 35 16 49 | 24,351 | 208 527 857 | 8,401 | 001 686 341 |
| 594 | 35 28 36 | 24,372 | 209 584 584 | 8,406 | 001 683 502 |
| **595** | 35 40 25 | 24,393 | 210 644 875 | 8,411 | 001 680 672 |
| 596 | 35 52 16 | 24,413 | 211 708 736 | 8,415 | 001 677 852 |
| 597 | 35 64 09 | 24,433 | 212 776 173 | 8,420 | 001 675 042 |
| 598 | 35 76 04 | 24,454 | 213 847 192 | 8,425 | 001 672 241 |
| 599 | 35 88 01 | 24,474 | 214 921 799 | 8,429 | 001 669 449 |
| **600** | 36 00 00 | 24,495 | 216 000 000 | 8,434 | 001 666 667 |
| 601 | 36 12 01 | 24,515 | 217 081 801 | 8,439 | 001 663 894 |
| 602 | 36 24 04 | 24,536 | 218 167 208 | 8,444 | 001 661 130 |
| 603 | 36 36 09 | 24,556 | 219 256 227 | 8,448 | 001 658 375 |
| 604 | 36 48 16 | 24,576 | 220 348 864 | 8,453 | 001 655 629 |
| **605** | 36 60 25 | 24,597 | 221 445 125 | 8,458 | 001 652 893 |
| 606 | 36 72 36 | 24,617 | 222 545 016 | 8,462 | 001 650 165 |
| 607 | 36 84 49 | 24,637 | 223 648 543 | 8,467 | 001 647 446 |
| 608 | 36 96 64 | 24,658 | 224 755 712 | 8,472 | 001 644 737 |
| 609 | 37 08 81 | 24,678 | 225 866 529 | 8,476 | 001 642 036 |
| **610** | 37 21 00 | 24,698 | 226 981 000 | 8,481 | 001 639 344 |
| 611 | 37 33 21 | 24,718 | 228 099 131 | 8,485 | 001 636 661 |
| 612 | 37 45 44 | 24,739 | 229 220 928 | 8,490 | 001 633 987 |
| 613 | 37 57 69 | 24,759 | 220 346 397 | 8,495 | 001 631 321 |
| 614 | 37 69 96 | 24,779 | 231 475 544 | 8,499 | 001 628 664 |
| **615** | 37 82 25 | 24,799 | 232 608 375 | 8,504 | 001 626 016 |
| 616 | 37 94 56 | 24,819 | 233 744 896 | 8,509 | 001 623 377 |
| 617 | 38 06 89 | 24,839 | 234 885 113 | 8,513 | 001 620 746 |
| 618 | 38 19 24 | 24,859 | 236 029 032 | 8,518 | 001 618 123 |
| 619 | 38 31 61 | 24,879 | 237 176 659 | 8,522 | 001 615 509 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **620** | 38 44 00 | 24,900 | 238 328 000 | 8,527 | 001 612 903 |
| 621 | 38 56 41 | 24,919 | 239 483 061 | 8,532 | 001 610 306 |
| 622 | 38 68 84 | 24,939 | 240 644 848 | 8,536 | 001 607 717 |
| 623 | 38 81 29 | 24,959 | 241 804 367 | 8,541 | 001 605 136 |
| 624 | 38 93 76 | 24,980 | 242 970 624 | 8,545 | 001 602 564 |
| **625** | 39 06 25 | 25,000 | 244 140 625 | 8,549 | 001 600 000 |
| 626 | 39 18 76 | 25,019 | 245 314 376 | 8,554 | 001 597 444 |
| 627 | 39 31 29 | 25,040 | 246 491 883 | 8,559 | 001 594 896 |
| 628 | 39 43 84 | 25,059 | 247 673 152 | 8,563 | 001 592 357 |
| 629 | 39 56 41 | 25,079 | 248 858 189 | 8,568 | 001 589 825 |
| **630** | 39 69 00 | 25,099 | 250 047 000 | 8,573 | 001 587 302 |
| 631 | 39 81 61 | 25,119 | 251 239 591 | 8,577 | 001 584 786 |
| 632 | 39 94 24 | 25,139 | 252 435 968 | 8,582 | 001 582 278 |
| 633 | 40 06 89 | 25,159 | 253 636 137 | 8,586 | 001 579 779 |
| 634 | 40 19 56 | 25,179 | 254 840 104 | 8,591 | 001 577 287 |
| **635** | 40 32 25 | 25,199 | 256 047 875 | 8,595 | 001 574 803 |
| 636 | 40 44 96 | 25,219 | 257 259 456 | 8,599 | 001 572 327 |
| 637 | 40 57 69 | 25,239 | 258 474 853 | 8,604 | 001 569 859 |
| 638 | 40 70 44 | 25,259 | 259 694 072 | 8,609 | 001 567 398 |
| 639 | 40 83 21 | 25,278 | 260 917 119 | 8,613 | 001 564 945 |
| **640** | 40 96 00 | 25,298 | 262 144 000 | 8,618 | 001 562 500 |
| 641 | 41 08 81 | 25,318 | 263 374 721 | 8,622 | 001 560 062 |
| 642 | 41 21 64 | 25,338 | 264 609 288 | 8,627 | 001 557 632 |
| 643 | 41 34 49 | 25,357 | 265 847 707 | 8,631 | 001 555 210 |
| 644 | 41 47 36 | 25,377 | 267 089 984 | 8,636 | 001 552 795 |
| **645** | 41 60 25 | 25,397 | 268 836 125 | 8,640 | 001 550 388 |
| 646 | 41 73 16 | 25,416 | 269 586 136 | 8,644 | 001 547 988 |
| 647 | 41 86 09 | 25,436 | 270 840 023 | 8,649 | 001 545 595 |
| 648 | 41 99 04 | 25,456 | 272 097 792 | 8,653 | 001 543 210 |
| 649 | 42 12 01 | 25,475 | 273 359 449 | 8,658 | 001 540 832 |
| **650** | 42 25 00 | 25,495 | 274 625 000 | 8,662 | 001 538 462 |
| 651 | 42 38 01 | 25,515 | 275 894 451 | 8,667 | 001 536 098 |
| 652 | 42 51 04 | 25,534 | 277 167 808 | 8,671 | 001 533 742 |
| 653 | 42 64 09 | 25,554 | 278 445 077 | 8,676 | 001 531 394 |
| 654 | 42 77 16 | 25,573 | 279 726 264 | 8,680 | 001 529 052 |
| **655** | 42 90 25 | 25,593 | 281 011 375 | 8,684 | 001 526 718 |
| 656 | 43 03 36 | 25,612 | 282 300 416 | 8,689 | 001 524 390 |
| 657 | 43 16 39 | 25,632 | 283 593 393 | 8,693 | 001 522 070 |
| 658 | 43 29 64 | 25,651 | 284 890 312 | 8,698 | 001 519 751 |
| 659 | 43 42 81 | 25,671 | 286 191 179 | 8,702 | 001 517 451 |
| **660** | 43 56 00 | 25,690 | 287 496 000 | 8,706 | 001 515 152 |
| 661 | 43 69 21 | 25,710 | 288 804 781 | 8,711 | 001 512 859 |
| 662 | 43 82 44 | 25,729 | 290 117 528 | 8,715 | 001 510 574 |
| 663 | 43 95 69 | 25,749 | 291 434 247 | 8,719 | 011 508 296 |
| 664 | 44 08 96 | 25,768 | 292 754 944 | 8,724 | 001 506 024 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **665** | 44 22 25 | 25.787 | 294 079 625 | 8.728 | 001 503 759 |
| 666 | 44 35 56 | 25.807 | 295 408 296 | 8.733 | 001 501 502 |
| 667 | 44 48 89 | 25.826 | 296 740 963 | 8.737 | 001 499 250 |
| 668 | 44 62 24 | 25.846 | 298 077 632 | 8.742 | 001 497 006 |
| 669 | 44 75 61 | 25.865 | 299 418 309 | 8.746 | 001 494 768 |
| **670** | 44 89 00 | 25.884 | 300 763 000 | 8.750 | 001 492 537 |
| 671 | 45 02 41 | 25.904 | 302 111 711 | 8.754 | 001 490 313 |
| 672 | 45 15 84 | 25.923 | 303 464 448 | 8.759 | 001 488 095 |
| 673 | 45 29 29 | 25.942 | 304 821 217 | 8.763 | 001 485 884 |
| 674 | 45 42 76 | 25.961 | 306 182 024 | 8.768 | 001 483 680 |
| **675** | 45 56 25 | 25.981 | 307 546 875 | 8.772 | 001 481 481 |
| 676 | 45 69 76 | 26.000 | 308 915 776 | 8.776 | 001 479 290 |
| 677 | 45 83 29 | 26.019 | 310 288 733 | 8.781 | 001 477 105 |
| 678 | 45 96 84 | 26.038 | 311 665 752 | 8.785 | 001 474 926 |
| 679 | 46 10 41 | 26.058 | 313 046 839 | 8.789 | 001 472 754 |
| **680** | 46 24 00 | 26.077 | 314 432 000 | 8.794 | 001 470 588 |
| 681 | 46 37 61 | 26.096 | 315 821 241 | 8.798 | 001 468 429 |
| 682 | 46 51 24 | 26.115 | 317 214 568 | 8.802 | 001 466 276 |
| 683 | 46 64 89 | 26.134 | 318 611 987 | 8.807 | 001 464 129 |
| 684 | 46 78 56 | 26.153 | 320 013 504 | 8.811 | 001 461 988 |
| **685** | 46 92 25 | 26.172 | 321 419 125 | 8.815 | 001 459 854 |
| 686 | 47 05 96 | 26.192 | 322 828 856 | 8.819 | 001 457 726 |
| 687 | 47 19 69 | 26.211 | 324 242 703 | 8.824 | 001 455 604 |
| 688 | 47 33 44 | 26.230 | 325 660 672 | 8.828 | 001 453 488 |
| 689 | 47 47 21 | 26.249 | 327 082 769 | 8.832 | 001 451 379 |
| **690** | 47 61 00 | 26.268 | 328 509 000 | 8.836 | 001 449 275 |
| 691 | 47 74 81 | 26.287 | 329 939 371 | 8.841 | 001 447 178 |
| 692 | 47 88 64 | 26.306 | 331 373 888 | 8.845 | 001 445 087 |
| 693 | 48 02 49 | 26.325 | 332 812 557 | 8.849 | 001 443 001 |
| 694 | 48 16 36 | 26.344 | 334 255 384 | 8.853 | 001 440 922 |
| **695** | 48 30 25 | 26.363 | 335 702 375 | 8.858 | 001 438 849 |
| 696 | 48 44 16 | 26.382 | 337 153 536 | 8.862 | 001 436 782 |
| 697 | 48 58 09 | 26.401 | 338 608 873 | 8.866 | 001 434 720 |
| 698 | 48 72 04 | 26.419 | 340 068 392 | 8.870 | 001 432 665 |
| 699 | 48 86 01 | 26.439 | 341 532 099 | 8.875 | 001 430 615 |
| **700** | 49 00 00 | 26.457 | 343 000 000 | 8.879 | 001 428 571 |
| 701 | 49 14 01 | 26.476 | 344 472 101 | 8.883 | 001 426 534 |
| 702 | 49 28 04 | 26.495 | 345 948 408 | 8.887 | 001 424 501 |
| 703 | 49 42 09 | 26.514 | 347 428 927 | 8.892 | 001 422 475 |
| 704 | 49 56 16 | 26.533 | 348 913 664 | 8.896 | 001 420 455 |
| **705** | 49 70 25 | 26.552 | 350 402 625 | 8.900 | 001 418 440 |
| 706 | 49 84 36 | 26.571 | 351 895 816 | 8.904 | 001 416 431 |
| 707 | 49 98 49 | 26.589 | 353 393 243 | 8.908 | 001 414 427 |
| 708 | 50 12 64 | 26.608 | 354 894 912 | 8.913 | 001 412 429 |
| 709 | 50 26 81 | 26.627 | 356 400 829 | 8.917 | 001 410 437 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **710** | 50 41 00 | 26,645 | 357 911 000 | 8,921 | 001 408 451 |
| 711 | 50 55 21 | 26,664 | 359 425 431 | 8,925 | 001 406 470 |
| 712 | 50 69 44 | 26,683 | 360 944 128 | 8,929 | 001 404 494 |
| 713 | 50 83 69 | 26,702 | 362 467 097 | 8,934 | 001 402 525 |
| 714 | 50 97 96 | 26,721 | 363 994 344 | 8,938 | 001 400 560 |
| **715** | 51 12 25 | 26,739 | 365 525 875 | 8,942 | 001 398 601 |
| 716 | 51 26 56 | 26,758 | 367 061 696 | 8,946 | 001 396 648 |
| 717 | 51 40 89 | 26,777 | 368 601 813 | 8,950 | 001 394 700 |
| 718 | 51 55 24 | 26,795 | 370 146 232 | 8,954 | 001 392 758 |
| 719 | 51 69 61 | 26,814 | 371 694 959 | 8,959 | 001 390 821 |
| **720** | 51 84 00 | 26,833 | 373 248 000 | 8,963 | 001 388 889 |
| 721 | 51 98 41 | 26,851 | 374 805 361 | 8,967 | 001 386 963 |
| 722 | 52 12 84 | 26,870 | 376 367 048 | 8,971 | 001 385 042 |
| 723 | 52 27 29 | 26,889 | 377 933 067 | 8,975 | 001 383 126 |
| 724 | 52 41 76 | 26,907 | 379 503 424 | 8,979 | 001 381 215 |
| **725** | 52 56 25 | 26,926 | 381 078 125 | 8,983 | 001 379 310 |
| 726 | 52 70 76 | 26,944 | 382 657 176 | 8,988 | 001 377 410 |
| 727 | 52 85 29 | 26,963 | 384 240 583 | 8,992 | 001 375 516 |
| 728 | 52 99 84 | 26,981 | 385 828 352 | 8,996 | 001 373 626 |
| 729 | 53 14 41 | 27,000 | 387 420 489 | 9,000 | 001 371 742 |
| **730** | 53 29 00 | 27,018 | 389 017 000 | 9,004 | 001 369 863 |
| 731 | 53 43 61 | 27,037 | 390 617 891 | 9,008 | 001 367 989 |
| 732 | 53 58 24 | 27,055 | 392 223 168 | 9,012 | 001 366 120 |
| 733 | 53 72 89 | 27,074 | 393 832 837 | 9,016 | 001 364 256 |
| 734 | 53 87 56 | 27,092 | 395 446 904 | 9,020 | 001 362 398 |
| **735** | 54 02 25 | 27,111 | 397 065 375 | 9,024 | 001 360 544 |
| 736 | 54 16 96 | 27,129 | 398 688 256 | 9,029 | 001 358 696 |
| 737 | 54 31 69 | 27,148 | 400 315 553 | 9,033 | 001 356 852 |
| 738 | 54 46 44 | 27,166 | 401 947 272 | 9,037 | 001 355 014 |
| 739 | 54 61 21 | 27,184 | 403 583 419 | 9,041 | 001 353 180 |
| **740** | 54 76 00 | 27,203 | 405 224 000 | 9,045 | 001 351 351 |
| 741 | 54 90 81 | 27,221 | 406 869 021 | 9,049 | 001 349 528 |
| 742 | 55 05 64 | 27,239 | 408 518 488 | 9,053 | 001 347 709 |
| 743 | 55 20 49 | 27,258 | 410 172 407 | 9,057 | 001 345 895 |
| 744 | 55 35 36 | 27,276 | 411 830 784 | 9,061 | 001 344 086 |
| **745** | 55 50 25 | 27,295 | 413 493 625 | 9,065 | 001 342 282 |
| 746 | 55 65 16 | 27,313 | 415 160 936 | 9,069 | 001 340 483 |
| 747 | 55 80 09 | 27,331 | 416 832 723 | 9,073 | 001 338 688 |
| 748 | 55 95 04 | 27,349 | 418 508 992 | 9,077 | 001 336 898 |
| 749 | 56 10 01 | 27,368 | 420 189 749 | 9,081 | 001 335 113 |
| **750** | 56 25 00 | 27,386 | 421 875 000 | 9,085 | 001 333 333 |
| 751 | 56 40 01 | 27,404 | 423 564 751 | 9,089 | 001 331 558 |
| 752 | 56 55 04 | 27,423 | 425 259 008 | 9,094 | 001 329 787 |
| 753 | 56 70 09 | 27,441 | 426 957 777 | 9,098 | 001 328 021 |
| 754 | 56 85 16 | 27,459 | 428 661 064 | 9,102 | 001 326 260 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **755** | 57 00 25 | 27.477 | 430 368 875 | 9,106 | 001 324 503 |
| 756 | 57 15 36 | 27.495 | 432 081 216 | 9,110 | 001 322 751 |
| 757 | 57 30 49 | 27,514 | 433 798 093 | 9,114 | 001 321 004 |
| 758 | 57 45 64 | 27,532 | 435 519 512 | 9,118 | 001 319 261 |
| 759 | 57 60 81 | 27,550 | 437 245 479 | 9,122 | 001 317 523 |
| **760** | 57 76 00 | 27,568 | 438 976 000 | 9,126 | 001 315 789 |
| 761 | 57 91 21 | 27,586 | 440 711 081 | 9,130 | 001 314 060 |
| 762 | 58 06 44 | 27,604 | 442 450 728 | 9,134 | 001 312 336 |
| 763 | 58 21 69 | 27,622 | 444 194 947 | 9,138 | 001 310 616 |
| 764 | 58 36 96 | 27,640 | 445 943 744 | 9,142 | 001 308 901 |
| **765** | 58 52 25 | 27,659 | 447 697 125 | 9,146 | 001 307 190 |
| 766 | 58 67 56 | 27,677 | 449 455 096 | 9,150 | 001 305 483 |
| 767 | 58 82 89 | 27,695 | 451 217 663 | 9,154 | 001 303 781 |
| 768 | 58 98 24 | 27,713 | 452 984 832 | 9,158 | 001 302 083 |
| 769 | 59 13 61 | 27,731 | 454 756 609 | 9,162 | 001 300 390 |
| **770** | 59 29 00 | 27,749 | 456 533 000 | 9,166 | 001 298 701 |
| 771 | 59 44 41 | 27,767 | 458 314 011 | 9,170 | 001 297 017 |
| 772 | 59 59 84 | 27,785 | 460 099 648 | 9,174 | 001 295 337 |
| 773 | 59 75 29 | 27,803 | 451 889 917 | 9,178 | 001 293 661 |
| 774 | 59 90 76 | 27,821 | 463 684 824 | 9,182 | 001 291 990 |
| **775** | 60 06 25 | 27,839 | 465 484 375 | 9,185 | 001 290 323 |
| 776 | 60 21 76 | 27,857 | 467 288 576 | 9,189 | 001 288 660 |
| 777 | 60 37 29 | 27,875 | 469 097 433 | 9,193 | 001 287 001 |
| 778 | 60 52 84 | 27,893 | 470 910 952 | 9,197 | 001 285 347 |
| 779 | 60 68 41 | 27,911 | 472 729 139 | 9,201 | 001 283 697 |
| **780** | 60 84 00 | 27,928 | 474 552 000 | 9,205 | 001 282 051 |
| 781 | 60 99 61 | 27,946 | 476 379 541 | 9,209 | 001 280 410 |
| 782 | 61 15 24 | 27,964 | 478 211 768 | 9,213 | 001 278 772 |
| 783 | 61 30 89 | 27,982 | 480 048 687 | 9,217 | 001 277 139 |
| 784 | 61 46 56 | 28,000 | 481 890 304 | 9,221 | 001 275 510 |
| **785** | 61 62 25 | 28,018 | 483 736 625 | 9,225 | 001 273 885 |
| 786 | 61 77 96 | 28,036 | 485 587 656 | 9,229 | 001 272 265 |
| 787 | 61 93 69 | 28,054 | 487 443 403 | 9,233 | 001 270 648 |
| 788 | 62 09 44 | 28,071 | 489 303 872 | 9,237 | 001 269 036 |
| 789 | 62 25 21 | 28,089 | 491 169 069 | 9,240 | 001 267 427 |
| **790** | 62 41 00 | 28,107 | 493 039 000 | 9,244 | 001 265 823 |
| 791 | 62 56 81 | 28,125 | 494 913 671 | 9,248 | 001 264 223 |
| 792 | 62 72 64 | 28,142 | 496 793 088 | 9,252 | 001 262 626 |
| 793 | 62 88 49 | 28,160 | 498 677 257 | 9,256 | 001 261 034 |
| 794 | 63 04 36 | 28,178 | 500 566 184 | 9,260 | 001 259 446 |
| **795** | 63 20 25 | 28,196 | 502 459 875 | 9,264 | 001 257 862 |
| 796 | 63 36 16 | 28,213 | 504 358 336 | 9,268 | 001 256 281 |
| 797 | 63 52 09 | 28,231 | 506 261 573 | 9,272 | 001 254 705 |
| 798 | 63 68 04 | 28,249 | 508 169 592 | 9,275 | 001 253 133 |
| 799 | 63 84 01 | 28,267 | 510 082 399 | 9,279 | 01 251 364 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **800** | 64 00 00 | 28,284 | 512 000 000 | 9,283 | 001 250 000 |
| 801 | 64 16 01 | 28,302 | 513 922 401 | 9,287 | 001 248 439 |
| 802 | 64 32 04 | 28,320 | 515 849 608 | 9,291 | 001 246 883 |
| 803 | 64 48 09 | 28,337 | 517 781 627 | 9,295 | 001 245 330 |
| 804 | 64 64 16 | 28,355 | 519 718 464 | 9,299 | 001 243 781 |
| **805** | 64 80 25 | 28,373 | 521 660 125 | 9,302 | 001 242 236 |
| 806 | 64 96 36 | 28,390 | 523 606 616 | 9,306 | 001 240 695 |
| 807 | 65 12 49 | 28,408 | 525 557 943 | 9,310 | 001 239 157 |
| 808 | 65 28 64 | 28,425 | 527 514 112 | 9,314 | 001 237 624 |
| 809 | 65 44 81 | 28,443 | 529 475 129 | 9,318 | 001 236 094 |
| **810** | 65 61 00 | 28,460 | 531 441 000 | 9,322 | 001 234 568 |
| 811 | 65 77 21 | 28,478 | 533 411 731 | 9,326 | 001 233 046 |
| 812 | 65 93 44 | 28,496 | 535 387 328 | 9,329 | 001 231 527 |
| 813 | 66 09 69 | 28,513 | 537 367 797 | 9,333 | 001 230 012 |
| 814 | 66 25 96 | 28,531 | 539 353 144 | 9,337 | 001 228 501 |
| **815** | 66 42 25 | 28,548 | 541 343 375 | 9,341 | 001 226 994 |
| 816 | 66 58 56 | 28,566 | 543 338 496 | 9,345 | 001 225 499 |
| 817 | 66 74 89 | 28,583 | 545 338 513 | 9,348 | 001 223 990 |
| 818 | 66 91 24 | 28,601 | 547 343 432 | 9,352 | 001 222 494 |
| 819 | 67 07 61 | 28,618 | 549 353 259 | 9,356 | 001 221 001 |
| **820** | 67 24 00 | 28,636 | 551 368 000 | 9,360 | 001 219 512 |
| 821 | 67 40 41 | 28,653 | 553 387 661 | 9,364 | 001 218 027 |
| 822 | 67 56 84 | 28,671 | 555 412 248 | 9,368 | 001 216 545 |
| 823 | 67 73 29 | 28,688 | 557 441 767 | 9,371 | 001 215 067 |
| 824 | 67 89 76 | 28,705 | 559 476 224 | 9,375 | 001 213 592 |
| **825** | 68 06 25 | 28,723 | 561 515 625 | 9,379 | 001 212 121 |
| 826 | 68 22 76 | 28,740 | 563 559 976 | 9,383 | 001 210 654 |
| 827 | 68 39 29 | 28,758 | 565 609 283 | 9,386 | 001 209 190 |
| 828 | 68 55 84 | 28,775 | 567 663 552 | 9,390 | 001 207 729 |
| 829 | 68 72 41 | 28,792 | 569 722 789 | 9,394 | 001 206 273 |
| **830** | 68 89 00 | 28,810 | 571 787 000 | 9,398 | 001 204 819 |
| 831 | 69 05 61 | 28,827 | 573 856 191 | 9,402 | 001 203 369 |
| 832 | 69 22 24 | 28,844 | 575 930 368 | 9,405 | 001 201 923 |
| 833 | 69 38 89 | 28,862 | 578 009 537 | 9,409 | 001 200 480 |
| 834 | 69 55 56 | 28,879 | 580 093 704 | 9,413 | 001 199 041 |
| **835** | 69 72 25 | 28,896 | 582 182 875 | 9,417 | 001 197 605 |
| 836 | 69 88 96 | 28,914 | 584 277 056 | 9,420 | 001 196 172 |
| 837 | 70 05 69 | 28,931 | 586 376 253 | 9,424 | 001 194 743 |
| 838 | 70 22 44 | 28,948 | 588 480 472 | 9,428 | 001 193 317 |
| 839 | 70 39 21 | 28,965 | 590 589 719 | 9,432 | 001 191 895 |
| **840** | 70 56 00 | 28,983 | 592 704 000 | 9,435 | 001 190 476 |
| 841 | 70 72 81 | 29,000 | 594 823 321 | 9,439 | 001 189 061 |
| 842 | 70 89 64 | 29,017 | 596 947 688 | 9,443 | 001 187 648 |
| 843 | 71 06 49 | 29,034 | 599 077 107 | 9,447 | 001 186 240 |
| 844 | 71 23 36 | 29,052 | 601 211 584 | 9,450 | 001 184 834 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **845** | 71 40 25 | 29,069 | 603 351 125 | 9,454 | 001 183 432 |
| 846 | 71 57 16 | 29,086 | 605 495 736 | 9,458 | 001 182 033 |
| 847 | 71 74 09 | 29,103 | 607 645 423 | 9,462 | 001 180 638 |
| 848 | 71 91 04 | 29,120 | 609 800 192 | 9,465 | 001 179 245 |
| 849 | 72 08 01 | 29,138 | 611 960 049 | 9,469 | 001 177 856 |
| **850** | 72 25 00 | 29,155 | 614 125 000 | 9,473 | 001 176 471 |
| 851 | 72 42 01 | 29,172 | 616 295 051 | 9,476 | 001 175 088 |
| 852 | 72 59 04 | 29,189 | 618 470 208 | 9,480 | 001 173 709 |
| 853 | 72 76 09 | 29,206 | 620 650 477 | 9,484 | 001 172 333 |
| 854 | 72 93 16 | 29,223 | 622 835 864 | 9,488 | 001 170 960 |
| **855** | 73 10 25 | 29,240 | 625 026 375 | 9,491 | 001 169 591 |
| 856 | 73 27 36 | 29,257 | 627 222 016 | 9,495 | 001 168 224 |
| 857 | 73 44 49 | 29,275 | 629 422 793 | 9,499 | 001 166 861 |
| 858 | 73 61 64 | 29,292 | 631 628 712 | 9,502 | 001 165 501 |
| 859 | 73 78 81 | 29,309 | 633 839 779 | 9,506 | 001 164 144 |
| **860** | 73 96 00 | 29,326 | 636 056 000 | 9,510 | 001 162 791 |
| 861 | 74 13 21 | 29,343 | 638 277 381 | 9,513 | 001 161 440 |
| 862 | 74 30 44 | 29,360 | 640 503 928 | 9,517 | 001 160 093 |
| 863 | 74 47 69 | 29,377 | 642 735 647 | 9,521 | 001 158 749 |
| 864 | 74 64 96 | 29,394 | 644 972 544 | 9,524 | 001 157 407 |
| **865** | 74 82 25 | 29,411 | 647 214 625 | 9,528 | 001 156 069 |
| 866 | 74 99 56 | 29,428 | 649 461 896 | 9,532 | 001 154 734 |
| 867 | 75 16 89 | 29,445 | 651 714 363 | 9,535 | 001 153 403 |
| 868 | 75 34 24 | 29,462 | 653 972 032 | 9,539 | 001 152 074 |
| 869 | 75 51 61 | 29,479 | 656 234 909 | 9,543 | 001 150 748 |
| **870** | 75 69 00 | 29,496 | 658 503 000 | 9,546 | 001 149 425 |
| 871 | 75 86 41 | 29,513 | 660 776 311 | 9,550 | 001 148 106 |
| 872 | 76 03 84 | 29,530 | 663 054 848 | 9,554 | 001 146 789 |
| 873 | 76 21 29 | 29,547 | 665 338 617 | 9,557 | 001 145 475 |
| 874 | 76 38 76 | 29,563 | 667 627 624 | 9,561 | 001 144 165 |
| **875** | 76 56 25 | 29,580 | 669 921 875 | 9,565 | 001 142 857 |
| 876 | 76 73 76 | 29,597 | 672 221 376 | 9,568 | 001 141 553 |
| 877 | 76 91 29 | 29,614 | 674 526 133 | 9,572 | 001 140 251 |
| 878 | 77 08 84 | 29,631 | 676 836 152 | 9,576 | 001 138 952 |
| 879 | 77 26 41 | 29,648 | 679 151 439 | 9,579 | 001 137 656. |
| **880** | 77 44 00 | 29,665 | 681 472 000 | 9,583 | 001 136 364 |
| 881 | 77 61 61 | 29,682 | 683 797 841 | 9,586 | 001 135 074 |
| 882 | 77 79 24 | 29,698 | 686 128 968 | 9,590 | 001 133 787 |
| 883 | 77 96 89 | 29,715 | 688 465 387 | 9,594 | 001 132 503 |
| 884 | 78 14 56 | 29,732 | 690 807 104 | 9,597 | 001 131 222 |
| **885** | 78 32 25 | 29,749 | 693 154 125 | 9,601 | 001 129 944 |
| 886 | 78 49 96 | 29,766 | 695 506 456 | 9,605 | 001 128 668 |
| 887 | 78 67 69 | 29,783 | 697 864 103 | 9,608 | 001 127 396 |
| 888 | 78 85 44 | 29,799 | 700 227 072 | 9,612 | 001 126 126 |
| 889 | 79 03 21 | 29,816 | 702 595 369 | 9,615 | 001 124 859 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **890** | 79 21 00 | 29,833 | 704 969 000 | 9,619 | 001 123 596 |
| 891 | 79 38 81 | 29,850 | 707 347 971 | 9,623 | 001 122 334 |
| 892 | 79 56 64 | 29,866 | 709 732 288 | 9,626 | 001 121 076 |
| 893 | 79 74 49 | 29,883 | 712 121 957 | 9,630 | 001 119 821 |
| 894 | 79 92 36 | 29,900 | 714 516 984 | 9,633 | 001 118 568 |
| **895** | 80 10 25 | 29,917 | 716 917 375 | 9,637 | 001 117 318 |
| 896 | 80 28 16 | 29,933 | 719 323 136 | 9,641 | 001 116 071 |
| 897 | 80 46 09 | 29,950 | 721 734 273 | 9,644 | 001 114 827 |
| 898 | 80 64 04 | 29,967 | 724 150 792 | 9,648 | 001 113 586 |
| 899 | 80 82 01 | 29,983 | 726 572 699 | 9,651 | 001 112 347 |
| **900** | 81 00 00 | 30,000 | 729 000 000 | 9,655 | 001 111 111 |
| 901 | 81 18 01 | 30,017 | 731 432 701 | 9,658 | 001 109 878 |
| 902 | 81 36 04 | 30,033 | 733 870 808 | 9,662 | 001 108 647 |
| 903 | 81 54 09 | 30,050 | 736 314 327 | 9,666 | 001 107 420 |
| 904 | 81 72 16 | 30,067 | 738 763 264 | 9,669 | 001 106 195 |
| **905** | 81 90 25 | 30,083 | 741 217 625 | 9,673 | 001 104 972 |
| 906 | 82 08 36 | 30,100 | 743 677 416 | 9,676 | 001 103 753 |
| 907 | 82 26 49 | 30,116 | 746 142 643 | 9,680 | 001 102 536 |
| 908 | 82 44 64 | 30,133 | 748 613 312 | 9,683 | 001 101 322 |
| 909 | 82 62 81 | 30,150 | 751 089 429 | 9,687 | 001 100 110 |
| **910** | 82 81 00 | 30,166 | 753 571 000 | 9,691 | 001 098 901 |
| 911 | 82 99 21 | 30,183 | 756 058 031 | 9,694 | 001 097 695 |
| 912 | 83 17 44 | 30,199 | 758 550 528 | 9,698 | 001 096 491 |
| 913 | 83 35 69 | 30,216 | 761 048 497 | 9,701 | 001 095 290 |
| 914 | 83 53 96 | 30,232 | 763 551 944 | 9,705 | 001 094 092 |
| **915** | 83 72 25 | 30,249 | 766 060 875 | 9,708 | 001 092 896 |
| 916 | 83 90 56 | 30,265 | 768 575 296 | 9,712 | 001 091 703 |
| 917 | 84 08 89 | 30,282 | 771 095 213 | 9,715 | 001 090 513 |
| 918 | 84 22 24 | 30,299 | 773 620 632 | 9,719 | 001 089 325 |
| 919 | 84 45 61 | 30,315 | 776 151 559 | 9,722 | 001 088 139 |
| **920** | 84 64 00 | 30,332 | 778 688 000 | 9,726 | 001 086 957 |
| 921 | 84 82 41 | 30,348 | 781 229 961 | 9,729 | 001 085 776 |
| 922 | 85 00 84 | 30,364 | 783 777 448 | 9,733 | 001 084 599 |
| 923 | 85 19 29 | 30,381 | 786 330 467 | 9,736 | 001 083 423 |
| 924 | 85 37 76 | 30,397 | 788 889 024 | 9,740 | 001 082 251 |
| **925** | 85 56 25 | 30,414 | 791 453 125 | 9,743 | 001 081 081 |
| 926 | 85 74 76 | 30,430 | 794 022 776 | 9,747 | 001 079 914 |
| 927 | 85 93 29 | 30,447 | 796 597 983 | 9,750 | 001 078 749 |
| 928 | 86 11 84 | 30,463 | 799 178 752 | 9,754 | 001 077 586 |
| 929 | 86 30 41 | 30,480 | 801 765 089 | 9,758 | 001 076 426 |
| **930** | 86 49 00 | 30,496 | 804 357 000 | 9,761 | 001 075 269 |
| 931 | 86 67 61 | 30,512 | 806 954 491 | 9,764 | 001 074 114 |
| 932 | 86 86 24 | 30,529 | 809 557 568 | 9,768 | 001 072 961 |
| 933 | 87 04 89 | 30,545 | 812 166 237 | 9,771 | 001 071 811 |
| 934 | 87 23 56 | 30,561 | 814 780 504 | 9,775 | 001 070 664 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **935** | 87 42 25 | 30,578 | 817 400 375 | 9,778 | 001 069 519 |
| 936 | 87 60 96 | 30,594 | 820 025 856 | 9,782 | 001 068 376 |
| 937 | 87 79 69 | 30,610 | 822 656 953 | 9,785 | 001 067 236 |
| 938 | 87 98 44 | 30,627 | 825 293 672 | 9,789 | 001 066 098 |
| 939 | 88 17 21 | 30,643 | 827 936 019 | 9,792 | 001 064 963 |
| **940** | 88 36 00 | 30,659 | 830 584 000 | 9,796 | 001 063 830 |
| 941 | 88 54 81 | 30,676 | 833 237 621 | 9,799 | 001 062 699 |
| 942 | 88 73 64 | 30,692 | 835 896 888 | 9,803 | 001 061 571 |
| 943 | 88 92 49 | 30,708 | 838 561 807 | 9,806 | 001 060 445 |
| 944 | 89 11 36 | 30,725 | 841 232 384 | 9,810 | 001 059 322 |
| **945** | 89 30 25 | 30,741 | 843 908 625 | 9,813 | 001 058 201 |
| 946 | 89 49 16 | 30,757 | 846 590 536 | 9,817 | 001 057 082 |
| 947 | 89 68 09 | 30,773 | 849 278 123 | 9,820 | 001 055 966 |
| 948 | 89 87 04 | 30,790 | 851 971 392 | 9,824 | 001 054 852 |
| 949 | 90 06 01 | 30,806 | 854 670 349 | 9,827 | 001 053 741 |
| **950** | 90 25 00 | 30,822 | 857 375 000 | 9,830 | 001 052 632 |
| 951 | 90 44 01 | 30,838 | 860 085 351 | 9,834 | 001 051 525 |
| 952 | 90 63 04 | 30,854 | 862 801 408 | 9,837 | 001 050 420 |
| 953 | 90 82 09 | 30,871 | 865 523 177 | 9,841 | 001 049 318 |
| 954 | 91 01 16 | 30,887 | 868 250 664 | 9,844 | 001 048 218 |
| **955** | 91 20 25 | 30,903 | 870 983 875 | 9,848 | 001 047 120 |
| 956 | 91 39 36 | 30,919 | 873 722 816 | 9,851 | 001 046 025 |
| 957 | 91 58 49 | 30,935 | 876 467 493 | 9,855 | 001 044 932 |
| 958 | 91 77 64 | 30,952 | 879 217 912 | 9,858 | 001 043 841 |
| 959 | 91 96 81 | 30,968 | 881 974 079 | 9,861 | 001 042 753 |
| **960** | 92 16 00 | 30,984 | 884 736 000 | 9,865 | 001 041 667 |
| 961 | 92 35 21 | 31,000 | 887 503 681 | 9,868 | 001 040 583 |
| 962 | 92 54 44 | 31,016 | 890 277 128 | 9,872 | 001 039 501 |
| 963 | 92 73 69 | 31,032 | 893 056 347 | 9,875 | 001 038 422 |
| 964 | 92 92 96 | 31,048 | 895 841 344 | 9,879 | 001 037 344 |
| **965** | 93 12 25 | 31,064 | 898 632 125 | 9,882 | 001 036 269 |
| 966 | 93 31 56 | 31,081 | 901 428 696 | 9,885 | 001 035 197 |
| 967 | 93 50 89 | 31,097 | 904 231 063 | 9,889 | 001 034 126 |
| 968 | 93 70 24 | 31,113 | 907 039 232 | 9,892 | 001 033 058 |
| 969 | 93 89 61 | 31,129 | 909 853 209 | 9,896 | 001 031 992 |
| **970** | 94 09 00 | 31,145 | 912 673 000 | 9,899 | 001 030 928 |
| 971 | 94 28 41 | 31,161 | 915 498 611 | 9,902 | 001 029 866 |
| 972 | 94 47 84 | 31,177 | 918 330 048 | 9,906 | 001 028 807 |
| 973 | 94 67 29 | 31,193 | 921 167 317 | 9,909 | 001 027 749 |
| 974 | 94 86 76 | 31,209 | 924 010 424 | 9,913 | 001 026 694 |
| **975** | 95 06 25 | 31,225 | 926 859 375 | 9,916 | 001 025 641 |
| 976 | 95 25 76 | 31,241 | 929 714 176 | 9,919 | 001 024 590 |
| 977 | 95 45 29 | 31,257 | 932 574 833 | 9,923 | 001 023 541 |
| 978 | 95 64 84 | 31,273 | 935 441 352 | 9,926 | 001 022 495 |
| 979 | 95 84 41 | 31,289 | 938 313 739 | 9,930 | 001 021 450 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **980** | 96 04 00 | 31,304 9517 | 941 192 000 | 9,932 2039 | 001 020 408 |
| 981 | 96 23 61 | 31,320 9195 | 944 076 141 | 9,936 2013 | 001 019 168 |
| 982 | 96 43 24 | 31,336 8792 | 946 966 168 | 9,939 6363 | 001 018 330 |
| 983 | 96 62 89 | 31,352 8308 | 949 862 087 | 9,943 0092 | 001 017 294 |
| 984 | 96 82 56 | 31,368 7743 | 952 763 904 | 9,946 3797 | 001 016 260 |
| **985** | 97 02 25 | 31,384 7097 | 955 671 625 | 9,949 7479 | 001 015 228 |
| 986 | 97 21 96 | 31,400 6369 | 958 585 256 | 9,953 1138 | 001 014 199 |
| 987 | 97 41 69 | 31,416 5561 | 961 504 803 | 9,956 4775 | 001 013 171 |
| 988 | 97 61 44 | 31,432 4673 | 964 430 272 | 9,959 8389 | 001 012 146 |
| 989 | 97 81 21 | 31,448 3704 | 967 361 669 | 9,963 1981 | 001 011 122 |
| **990** | 98 01 00 | 31,464 2654 | 970 299 000 | 9,966 5549 | 001 010 101 |
| 991 | 98 20 81 | 31,480 1525 | 973 242 271 | 9,969 9055 | 001 009 082 |
| 992 | 98 40 64 | 31,496 0315 | 976 191 488 | 9,973 2619 | 001 008 065 |
| 993 | 98 60 49 | 31,511 9025 | 979 146 657 | 9,976 6120 | 001 007 049 |
| 994 | 98 80 36 | 31,527 7655 | 982 107 784 | 9,979 9599 | 001 006 036 |
| **995** | 99 00 25 | 31,543 6206 | 985 074 875 | 9,983 3055 | 001 005 025 |
| 996 | 99 20 16 | 31,559 4677 | 988 047 936 | 9,986 6488 | 001 004 016 |
| 997 | 99 40 09 | 31,575 3068 | 991 026 973 | 9,989 9900 | 001 003 009 |
| 998 | 99 60 04 | 31,591 1380 | 994 011 992 | 9,993 3289 | 001 002 004 |
| 999 | 99 80 01 | 31,606 9613 | 997 002 999 | 9,996 6656 | 001 001 001 |
| **1000** | 100 00 00 | 31,622 7766 | 1000 000 000 | 10,000 0000 | 001 000 000 |
| 1001 | 100 20 01 | 31,638 5840 | 1003 003 001 | 10,003 3222 | 000 999 0010 |
| 1002 | 100 40 04 | 31,654 3866 | 1006 012 008 | 10,006 6622 | 000 988 0040 |
| 1003 | 100 60 09 | 31,670 1752 | 1009 027 027 | 10,009 9899 | 000 997 0090 |
| 1004 | 100 80 16 | 31,685 9590 | 1012 048 064 | 10,013 3155 | 000 996 0159 |
| **1005** | 101 00 25 | 31,701 7349 | 1015 075 125 | 10,016 6389 | 090 995 0249 |
| 1006 | 101 20 36 | 31,717 5030 | 1018 108 216 | 10,019 9601 | 000 994 0358 |
| 1007 | 101 40 49 | 31,733 2633 | 1021 147 343 | 10,028 2791 | 000 993 0487 |
| 1008 | 101 60 64 | 31,749 0157 | 1024 192 512 | 10,026 5958 | 000 992 0635 |
| 1009 | 101 80 81 | 31,764 7603 | 1027 243 729 | 10,029 9104 | 008 991 0803 |
| **1010** | 102 01 00 | 31,780 4972 | 1030 301 000 | 10,033 2228 | 000 990 0990 |
| 1011 | 102 21 21 | 31,796 2262 | 1033 364 331 | 10,036 5330 | 000 989 1197 |
| 1012 | 102 41 44 | 31,811 9474 | 1036 433 728 | 10,039 8410 | 000 968 1423 |
| 1013 | 102 61 69 | 31,827 6609 | 1039 509 197 | 10,043 1469 | 000 987 1668 |
| 1014 | 102 81 96 | 31,843 3666 | 1042 590 744 | 10,046 4506 | 000 986 1933 |
| **1015** | 103 02 25 | 31,859 0646 | 1045 678 375 | 10,049 7521 | 000 985 2217 |
| 1016 | 103 22 56 | 31,874 7549 | 1048 772 096 | 10,053 0514 | 000 984 2520 |
| 1017 | 103 42 89 | 31,890 4374 | 1051 871 913 | 10,056 3485 | 000 983 2842 |
| 1018 | 103 63 24 | 31,906 1123 | 1054 977 832 | 10,059 6435 | 000 982 3183 |
| 1019 | 103 83 61 | 31,921 7794 | 1058 089 859 | 10,062 9364 | 000 981 3544 |
| **1020** | 104 04 00 | 31,937 4388 | 1061 208 000 | 10,066 2271 | 000 980 3922 |
| 1021 | 104 24 41 | 31,953 0906 | 1064 332 261 | 10,069 5156 | 000 979 4319 |
| 1022 | 104 44 84 | 31,968 7347 | 1067 462 648 | 10,072 8020 | 000 978 4736 |
| 1023 | 104 65 29 | 31,984 3712 | 1070 599 167 | 10,076 0863 | 000 977 5171 |
| 1024 | 104 85 76 | 32,000 0000 | 1072 741 824 | 10,079 3684 | 000 976 5625 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1025** | 105 06 25 | 32,015 6242 | 1076 890 625 | 10,082 6484 | 000 975 6098 |
| 1026 | 105 26 76 | 32,031 2348 | 1080 045 576 | 10,085 9262 | 000 974 6589 |
| 1027 | 105 47 29 | 32,046 8407 | 1083 206 683 | 10,089 2019 | 000 973 7098 |
| 1028 | 105 67 84 | 32,062 4391 | 1086 373 952 | 10,092 4755 | 000 972 7626 |
| 1029 | 105 88 41 | 32,078 0298 | 1089 547 389 | 10,095 7469 | 000 971 8173 |
| **1030** | 106 09 00 | 32,093 6131 | 1092 727 000 | 10,099 0163 | 000 970 8738 |
| 1031 | 106 29 61 | 32,109 1887 | 1095 912 791 | 10,102 2835 | 000 969 9321 |
| 1032 | 106 50 24 | 32,124 7568 | 1099 104 768 | 10,105 5487 | 000 968 9922 |
| 1033 | 106 70 89 | 32,140 3173 | 1102 302 937 | 18,108 8117 | 000 968 0542 |
| 1034 | 106 91 56 | 32,155 8704 | 1105 507 304 | 10,112 0726 | 000 967 1180 |
| **1035** | 107 12 25 | 32,171 4159 | 1108 717 875 | 10,115 3314 | 000 966 1836 |
| 1036 | 107 32 96 | 32,186 9539 | 1111 934 656 | 10,118 5882 | 000 965 2510 |
| 1037 | 107 53 69 | 32,202 4844 | 1115 157 653 | 10,121 8428 | 000 964 3202 |
| 1038 | 107 74 44 | 32,218 0074 | 1118 386 872 | 10,125 0953 | 000 963 3911 |
| 1039 | 107 95 21 | 32,233 5229 | 1121 622 319 | 10,128 3457 | 000 962 4639 |
| **1040** | 108 16 00 | 32,249 0310 | 1124 864 000 | 10,131 5941 | 000 961 5385 |
| 1041 | 108 36 81 | 32,264 5316 | 1128 111 921 | 10,134 8403 | 000 960 6148 |
| 1042 | 108 57 64 | 32,280 0248 | 1131 366 088 | 10,138 0845 | 000 959 6929 |
| 1043 | 108 78 49 | 32,295 5105 | 1134 626 507 | 10,141 3266 | 000 958 7728 |
| 1044 | 108 99 36 | 32,310 9888 | 1137 893 184 | 10,144 5667 | 000 957 8544 |
| **1045** | 109 20 25 | 32,326 4598 | 1141 166 125 | 10,147 8047 | 000 956 9378 |
| 1046 | 109 41 16 | 32,341 9233 | 1144 445 336 | 10,151 0406 | 000 956 0229 |
| 1047 | 109 62 09 | 32,357 3794 | 1147 730 823 | 10,154 2744 | 000 955 1098 |
| 1048 | 109 83 04 | 32,372 8281 | 1151 022 592 | 10,157 5062 | 000 954 1985 |
| 1049 | 110 04 01 | 32,388 2695 | 1154 320 649 | 10,160 7359 | 000 953 2888 |
| **1050** | 110 25 00 | 32,403 7035 | 1157 625 000 | 10,163 9636 | 000 952 3810 |
| 1051 | 110 46 01 | 32,419 1301 | 1160 935 651 | 10,167 1893 | 000 951 4748 |
| 1052 | 110 67 04 | 32,434 5495 | 1164 252 608 | 10,170 4129 | 000 950 5703 |
| 1053 | 110 88 09 | 32,449 9615 | 1167 575 877 | 10,173 6344 | 000 949 6676 |
| 1054 | 111 09 16 | 32,465 3662 | 1170 905 464 | 10,176 8539 | 000 948 7666 |
| **1055** | 111 31 25 | 32,480 7635 | 1174 241 375 | 10,180 0714 | 000 947 8673 |
| 1056 | 111 51 36 | 32,496 1536 | 1177 583 616 | 10,183 2868 | 000 946 9697 |
| 1057 | 111 72 49 | 32,511 5364 | 1180 932 193 | 10,186 5002 | 000 946 0738 |
| 1058 | 111 93 64 | 32,526 9119 | 1184 287 112 | 10,189 7116 | 000 945 1796 |
| 1059 | 112 14 81 | 32,542 2802 | 1187 648 379 | 10,192 9209 | 000 944 2871 |
| **1060** | 112 36 00 | 32,557 6412 | 1191 016 000 | 10,196 1283 | 000 943 3962 |
| 1061 | 112 57 21 | 32,572 9949 | 1194 389 981 | 10,199 3336 | 000 942 5071 |
| 1062 | 112 78 44 | 32,588 3415 | 1197 770 328 | 10,202 5369 | 000 941 6196 |
| 1063 | 112 99 69 | 32,603 5807 | 1201 157 047 | 10,205 7382 | 000 940 7338 |
| 1064 | 113 20 96 | 32,619 0129 | 1204 550 144 | 10,208 9375 | 000 939 8496 |
| **1065** | 113 42 25 | 32,634 2377 | 1207 949 625 | 10,212 1347 | 000 938 9671 |
| 1066 | 113 63 56 | 32,649 6554 | 1211 355 496 | 10,215 3300 | 000 938 0863 |
| 1067 | 113 84 89 | 32,664 9659 | 1214 767 763 | 10,218 5233 | 000 937 2071 |
| 1068 | 114 06 24 | 32,680 2693 | 1218 186 432 | 10,221 7146 | 000 936 3296 |
| 1069 | 114 27 61 | 32,695 5654 | 1221 611 509 | 10,224 9039 | 000 935 4537 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1070** | 114 49 00 | 32,710 8544 | 1225 043 000 | 10,228 0912 | 000 934 5794 |
| 1071 | 114 70 41 | 32,726 1363 | 1228 480 911 | 10,231 2766 | 000 933 7068 |
| 1072 | 114 91 84 | 32,741 4111 | 1231 925 248 | 10,234 4599 | 000 932 8358 |
| 1073 | 115 13 29 | 32,756 6787 | 1235 376 017 | 10,237 6413 | 000 931 9664 |
| 1074 | 115 34 76 | 32,771 9392 | 1238 833 224 | 10,240 8207 | 000 931 0987 |
| **1075** | 115 56 25 | 32,787 1926 | 1242 296 875 | 10,243 9981 | 000 930 2326 |
| 1076 | 115 77 76 | 32,802 4398 | 1245 766 976 | 10,247 1735 | 000 929 3680 |
| 1077 | 115 99 29 | 32,817 6782 | 1249 243 533 | 10,250 3470 | 000 928 5051 |
| 1078 | 116 20 84 | 32,832 9103 | 1252 725 552 | 10,253 5185 | 000 927 6438 |
| 1079 | 116 42 41 | 32,848 1354 | 1256 216 039 | 10,256 6881 | 000 926 7841 |
| **1080** | 116 64 00 | 32,863 3535 | 1259 712 000 | 10,259 8557 | 000 925 9259 |
| 1081 | 116 85 61 | 32,878 5644 | 1263 214 441 | 10,263 0213 | 000 925 0694 |
| 1082 | 117 07 24 | 32,893 7684 | 1266 723 368 | 10,266 1850 | 000 924 2144 |
| 1083 | 117 28 89 | 32,908 9553 | 1270 238 787 | 10,269 3467 | 000 923 3610 |
| 1084 | 117 50 56 | 32,924 1553 | 1273 760 704 | 10,272 5065 | 000 922 5092 |
| **1085** | 117 72 25 | 32,939 3382 | 1277 289 125 | 10,275 6644 | 000 921 6590 |
| 1086 | 117 93 96 | 32,954 5141 | 1280 824 056 | 10,278 8203 | 000 920 8103 |
| 1087 | 118 15 69 | 32,969 6830 | 1284 365 503 | 10,281 9743 | 000 919 9632 |
| 1088 | 118 37 44 | 32,984 8450 | 1287 913 472 | 10,285 1264 | 000 919 1176 |
| 1089 | 118 59 21 | 33,000 0000 | 1291 467 969 | 10,288 2765 | 000 918 2736 |
| **1090** | 118 81 00 | 33,015 1480 | 1295 029 000 | 10,291 4247 | 000 917 4312 |
| 1091 | 119 02 81 | 33,030 2891 | 1298 596 571 | 10,294 5709 | 000 916 5903 |
| 1092 | 119 24 64 | 33,045 4233 | 1302 170 688 | 10,297 7153 | 000 915 7509 |
| 1093 | 119 46 49 | 33,060 5505 | 1305 751 357 | 10,300 8577 | 000 914 9131 |
| 1094 | 119 68 36 | 33,075 6708 | 1309 338 584 | 10,303 9982 | 000 914 0768 |
| **1095** | 119 90 25 | 33,090 7842 | 1312 932 375 | 10,307 1368 | 000 913 2420 |
| 1096 | 120 12 16 | 33,105 8907 | 1316 532 736 | 10,310 2735 | 000 912 4008 |
| 1097 | 120 34 09 | 33,120 9903 | 1320 139 673 | 10,313 4083 | 000 911 5770 |
| 1098 | 120 56 04 | 33,136 0830 | 1323 753 192 | 10,316 5411 | 000 910 7468 |
| 1099 | 120 78 01 | 33,151 1689 | 1327 373 299 | 10,319 6721 | 000 909 9181 |
| **1100** | 121 00 00 | 33,166 2479 | 1331 000 000 | 10,322 8012 | 000 909 0909 |
| 1101 | 121 22 01 | 33,181 3200 | 1334 633 301 | 10,325 9284 | 000 908 2652 |
| 1102 | 121 44 04 | 33,196 3853 | 1338 273 208 | 10,329 0537 | 000 907 4410 |
| 1103 | 121 66 09 | 33,211 4438 | 1341 919 727 | 10,332 1770 | 000 906 6183 |
| 1104 | 121 88 16 | 33,226 4955 | 1345 572 864 | 10,335 2985 | 000 905 7971 |
| **1105** | 122 10 25 | 33,241 5403 | 1349 232 625 | 10,338 4181 | 000 904 9774 |
| 1106 | 122 32 36 | 33,256 5783 | 1352 899 016 | 10,341 5358 | 000 904 1591 |
| 1107 | 122 54 49 | 33,271 6095 | 1356 572 043 | 10,344 6517 | 000 903 3424 |
| 1108 | 122 76 64 | 33,286 6339 | 1360 251 712 | 10,347 7657 | 000 902 5271 |
| 1109 | 122 98 81 | 33,301 6516 | 1363 938 029 | 10,350 8778 | 000 901 7133 |
| **1110** | 123 21 00 | 33,316 6625 | 1367 631 000 | 10,353 9880 | 000 900 9009 |
| 1111 | 123 43 21 | 33,331 6666 | 1371 330 631 | 10,357 0964 | 000 900 0900 |
| 1112 | 123 65 44 | 33,346 6640 | 1375 036 928 | 10,360 2029 | 000 899 2806 |
| 1113 | 123 87 69 | 33,361 6546 | 1378 749 897 | 10,363 3076 | 000 898 4726 |
| 1114 | 124 09 96 | 33,376 6385 | 1382 469 544 | 10,366 4103 | 000 897 6661 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1115** | 124 32 25 | 33,391 6157 | 1386 195 875 | 10,369 5113 | 000 896 8610 |
| 1116 | 124 54 56 | 33,406 5862 | 1389 928 896 | 10,372 6103 | 000 896 0753 |
| 1117 | 124 76 89 | 33,421 5499 | 1393 668 613 | 10,375 7076 | 000 895 2551 |
| 1118 | 124 99 24 | 33,436 5070 | 1397 415 032 | 10,378 8030 | 000 894 4544 |
| 1119 | 125 21 61 | 33,451 4573 | 1401 168 159 | 10,381 8965 | 000 893 6550 |
| **1120** | 125 44 00 | 33,466 4011 | 1404 928 000 | 10,384 9882 | 000 892 8571 |
| 1121 | 125 66 41 | 33,481 3381 | 1408 694 561 | 10,388 0781 | 000 892 0607 |
| 1122 | 125 88 84 | 33,496 2684 | 1412 467 848 | 10,391 1661 | 000 891 2656 |
| 1123 | 126 11 29 | 33,511 1921 | 1416 247 867 | 10,394 2527 | 000 890 4720 |
| 1124 | 126 33 76 | 33,526 1092 | 1420 034 624 | 10,397 3366 | 000 889 6797 |
| **1125** | 126 56 25 | 33,541 0196 | 1423 828 125 | 10,400 4192 | 000 888 8889 |
| 1126 | 126 78 76 | 33,555 9234 | 1427 628 376 | 10,403 4999 | 000 888 0995 |
| 1127 | 127 01 29 | 33,570 8206 | 1431 435 383 | 10,406 5787 | 000 887 3114 |
| 1128 | 127 23 84 | 33,585 7112 | 1435 249 152 | 10,409 6557 | 000 886 5248 |
| 1129 | 127 46 41 | 33,600 5952 | 1439 069 689 | 10,412 7310 | 000 885 7396 |
| **1130** | 127 69 00 | 33,615 4726 | 1442 897 000 | 10,415 8044 | 000 884 9558 |
| 1131 | 127 91 61 | 33,630 3434 | 1446 731 091 | 10,418 8760 | 000 884 1733 |
| 1132 | 128 14 24 | 33,645 2077 | 1450 571 968 | 10,421 9458 | 000 883 3922 |
| 1133 | 128 36 89 | 33,660 0653 | 1454 419 637 | 10,425 0138 | 000 882 6125 |
| 1134 | 128 59 56 | 33,674 9165 | 1458 274 104 | 10,428 0800 | 000 881 8342 |
| **1135** | 128 82 25 | 33,689 7610 | 1462 135 375 | 10,431 1443 | 000 881 0573 |
| 1136 | 129 04 96 | 33,704 5991 | 1466 003 456 | 10,434 2069 | 000 880 2817 |
| 1137 | 129 27 69 | 33,717 4306 | 1469 878 353 | 10,437 2677 | 000 879 5075 |
| 1138 | 129 50 44 | 33,734 0556 | 1473 760 072 | 10,440 3677 | 000 878 7346 |
| 1139 | 129 73 21 | 33,749 0741 | 1477 648 619 | 10,443 3839 | 000 877 9631 |
| **1140** | 129 96 00 | 33,763 8860 | 1481 544 000 | 10,446 4393 | 000 877 1930 |
| 1141 | 130 18 81 | 33,778 6915 | 1485 446 221 | 10,449 4929 | 000 876 4242 |
| 1142 | 130 41 64 | 33,793 4905 | 1489 355 288 | 10,452 5448 | 000 875 6567 |
| 1143 | 130 64 49 | 33,808 2830 | 1493 271 207 | 10,455 5948 | 000 874 8906 |
| 1144 | 130 87 36 | 33,823 0691 | 1497 193 984 | 10,458 6431 | 000 874 1259 |
| **1145** | 131 10 25 | 33,837 8486 | 1501 123 625 | 10,461 6896 | 000 873 3624 |
| 1146 | 131 33 16 | 33,852 6218 | 1505 060 136 | 10,464 7343 | 000 872 6003 |
| 1147 | 131 56 09 | 33,867 3884 | 1509 003 523 | 10,467 7773 | 000 871 8396 |
| 1148 | 131 79 04 | 33,882 1487 | 1512 953 792 | 10,470 8158 | 000 871 0801 |
| 1149 | 132 02 01 | 33,896 9025 | 1516 910 949 | 10,473 8579 | 000 870 3220 |
| **1150** | 132 25 00 | 33,911 6499 | 1520 875 000 | 10,476 8955 | 000 869 5652 |
| 1151 | 132 48 01 | 33,926 3909 | 1524 845 951 | 10,479 9314 | 000 868 8097 |
| 1152 | 132 71 04 | 33,941 1255 | 1528 823 808 | 10,482 9656 | 000 868 0556 |
| 1153 | 132 94 09 | 33,955 8537 | 1532 808 577 | 10,485 9980 | 000 867 3027 |
| 1154 | 133 17 16 | 33,970 5755 | 1536 800 264 | 10,489 0286 | 000 866 5511 |
| **1155** | 133 40 25 | 33,985 2910 | 1540 798 875 | 10,492 0575 | 000 865 0009 |
| 1156 | 133 63 36 | 34,000 0000 | 1544 804 416 | 10,495 0847 | 000 865 0519 |
| 1157 | 133 86 49 | 34,014 7027 | 1548 816 893 | 10,498 1101 | 000 864 3042 |
| 1158 | 134 09 64 | 34,029 3990 | 1552 836 312 | 10,501 1337 | 000 863 5579 |
| 1159 | 134 32 81 | 34,044 0890 | 1556 862 679 | 10,504 1556 | 000 862 8128 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1160** | 134 56 00 | 34,058 7727 | 1560 896 000 | 10,507 1757 | 000 862 0690 |
| 1161 | 134 74 21 | 34,073 4501 | 1564 936 281 | 10,510 1942 | 000 861 3244 |
| 1162 | 135 02 44 | 34,088 1211 | 1568 983 528 | 10,513 2109 | 000 860 5852 |
| 1163 | 135 25 69 | 34,012 7858 | 1573 037 747 | 10,516 2259 | 000 859 8452 |
| 1164 | 135 48 96 | 34,117 4442 | 1577 098 944 | 10,519 2391 | 000 859 1065 |
| **1165** | 135 72 25 | 34,132 0963 | 1581 167 125 | 10,522 2506 | 000 858 3691 |
| 1166 | 135 95 56 | 34,146 7422 | 1585 242 296 | 10,525 2604 | 000 857 6329 |
| 1167 | 136 18 89 | 34,161 3817 | 1589 324 463 | 10,528 2685 | 000 856 8980 |
| 1168 | 136 42 24 | 34,176 0150 | 1593 413 632 | 10,531 2749 | 000 856 1644 |
| 1169 | 136 65 61 | 34,190 6420 | 1597 509 809 | 10,534 2795 | 000 855 4320 |
| **1170** | 136 89 00 | 34,205 2627 | 1601 613 000 | 10,537 2825 | 000 854 7009 |
| 1171 | 137 12 41 | 34,219 8773 | 1605 723 211 | 10,540 2837 | 000 853 9710 |
| 1172 | 137 35 84 | 34,234 4855 | 1609 840 448 | 10,543 2832 | 000 853 2423 |
| 1173 | 137 59 29 | 34,249 0875 | 1613 964 717 | 10,546 2810 | 000 852 5149 |
| 1174 | 137 82 76 | 34,263 6834 | 1618 096 024 | 10,549 2771 | 000 851 7888 |
| **1175** | 138 06 25 | 34,278 2730 | 1622 234 375 | 10,552 2715 | 000 851 0638 |
| 1176 | 138 29 76 | 34,292 8564 | 1626 379 776 | 10,555 2642 | 000 850 3401 |
| 1177 | 138 53 29 | 34,307 4336 | 1630 532 233 | 10,558 2552 | 000 549 6177 |
| 1178 | 138 76 84 | 34,322 0046 | 1634 691 752 | 10,561 2445 | 000 848 8964 |
| 1179 | 139 00 41 | 34,336 5694 | 1638 858 339 | 10,564 2322 | 000 848 1764 |
| **1180** | 139 24 00 | 34,351 1281 | 1643 032 000 | 10,567 2181 | 000 847 1576 |
| 1181 | 139 47 61 | 34,365 6805 | 1647 212 741 | 10,570 2024 | 000 846 7401 |
| 1182 | 139 71 24 | 34,380 2268 | 1651 400 568 | 10,573 1849 | 000 846 0237 |
| 1183 | 139 94 89 | 34,394 7670 | 1655 595 487 | 10,576 1658 | 000 845 3085 |
| 1184 | 140 18 56 | 34,409 3011 | 1659 797 504 | 10,579 1449 | 000 844 5946 |
| **1185** | 140 42 25 | 34,423 8289 | 1664 006 625 | 10,582 1225 | 000 843 8819 |
| 1186 | 140 65 96 | 34,438 3507 | 1668 222 856 | 10,585 0983 | 000 843 1703 |
| 1187 | 140 89 69 | 34,452 8663 | 1672 446 203 | 10,588 0725 | 000 842 4600 |
| 1188 | 141 13 44 | 34,467 3759 | 1676 676 672 | 10,591 0450 | 000 841 7508 |
| 1189 | 141 37 21 | 34,481 8793 | 1680 914 269 | 10,594 0158 | 000 841 0429 |
| **1190** | 141 61 00 | 34,496 3766 | 1685 159 000 | 10,596 9850 | 000 840 3361 |
| 1191 | 141 84 81 | 34,510 8678 | 1689 410 871 | 10,599 9525 | 000 839 6306 |
| 1192 | 142 08 64 | 34,525 3530 | 1693 669 888 | 10,602 9184 | 000 838 9262 |
| 1193 | 142 32 49 | 34,539 8321 | 1697 936 057 | 10,605 8826 | 000 838 2320 |
| 1194 | 142 56 36 | 34,554 3051 | 1702 209 384 | 10,608 8451 | 000 837 5209 |
| **1195** | 142 80 25 | 34,568 7720 | 1706 489 875 | 10,611 8060 | 000 836 8201 |
| 1196 | 143 04 16 | 34,583 2329 | 1710 777 536 | 10,614 7652 | 000 836 1204 |
| 1197 | 143 28 09 | 34,597 6879 | 1715 072 373 | 10,617 7228 | 000 835 4219 |
| 1198 | 143 52 04 | 34,612 1366 | 1719 374 392 | 10,620 6788 | 000 834 7245 |
| 1199 | 143 76 01 | 34,626 5794 | 1723 683 599 | 10,623 6331 | 000 834 0284 |
| **1200** | 144 00 00 | 34,641 0162 | 1728 000 000 | 10,626 5857 | 000 833 3333 |
| 1201 | 144 24 01 | 34,655 4469 | 1732 323 601 | 10,629 5367 | 000 832 6395 |
| 1202 | 144 48 04 | 34,669 8716 | 1736 654 408 | 10,632 4860 | 000 831 9468 |
| 1203 | 144 72 09 | 34,684 2903 | 1740 992 427 | 10,635 4338 | 000 831 2552 |
| 1204 | 144 96 16 | 34,698 7031 | 1745 337 664 | 10,638 3799 | 000 830 5648 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1205** | 145 20 25 | 34,713 1099 | 1749 690 125 | 10,641 3244 | 000 829 8755 |
| 1206 | 145 44 36 | 34,727 5107 | 1754 049 816 | 10,644 2672 | 000 829 1874 |
| 1207 | 145 68 49 | 34,741 9055 | 1758 446 743 | 10,647 2085 | 000 828 5004 |
| 1208 | 145 92 64 | 34,756 2944 | 1762 790 912 | 10,650 1480 | 000 827 8146 |
| 1209 | 146 16 81 | 34,770 6773 | 1767 172 329 | 10,653 0860 | 000 827 1299 |
| **1210** | 146 41 00 | 34,785 0543 | 1771 561 000 | 10,656 0223 | 000 826 4463 |
| 1211 | 146 65 21 | 34,799 4253 | 1775 956 931 | 10,658 9570 | 000 825 7638 |
| 1212 | 146 89 44 | 34,813 7904 | 1780 360 128 | 10,661 8902 | 000 825 0825 |
| 1213 | 147 13 69 | 34,828 1495 | 1784 770 597 | 10,664 8217 | 000 824 4023 |
| 1214 | 147 37 96 | 34,842 5028 | 1789 188 344 | 10,667 7516 | 000 823 7232 |
| **1215** | 147 62 25 | 34,856 8501 | 1793 613 375 | 10,670 6799 | 000 823 0453 |
| 1216 | 147 86 56 | 34,871 1915 | 1798 045 696 | 10,673 6066 | 000 822 3684 |
| 1217 | 148 10 89 | 34,885 5271 | 1802 485 313 | 10,676 5317 | 000 821 6927 |
| 1218 | 148 35 24 | 34,899 8567 | 1806 932 232 | 10,679 4552 | 000 821 0181 |
| 1219 | 148 59 61 | 34,914 1805 | 1811 386 459 | 10,682 3771 | 000 820 3445 |
| **1220** | 148 84 00 | 34,928 4984 | 1815 848 000 | 10,685 2973 | 000 819 6721 |
| 1221 | 149 08 41 | 34,942 8104 | 1820 316 861 | 10,688 2160 | 000 819 0008 |
| 1222 | 149 32 84 | 34,957 1166 | 1824 793 048 | 10,691 1331 | 000 818 3306 |
| 1223 | 149 57 29 | 34,971 4169 | 1829 276 567 | 10,694 0486 | 000 817 6615 |
| 1224 | 149 81 76 | 34,985 7114 | 1833 767 424 | 10,696 9625 | 000 816 9935 |
| **1225** | 150 06 25 | 35,000 0000 | 1838 265 625 | 10,699 8748 | 000 816 3265 |
| 1226 | 150 30 76 | 35,014 2828 | 1842 771 176 | 10,702 7855 | 000 815 6607 |
| 1227 | 150 55 29 | 35,028 5598 | 1847 284 083 | 10,705 6947 | 000 814 9959 |
| 1228 | 150 79 84 | 35,042 8309 | 1851 804 352 | 10,708 6023 | 000 814 3322 |
| 1229 | 151 04 41 | 35,057 0963 | 1856 331 989 | 10,711 5083 | 000 813 6696 |
| **1230** | 151 29 00 | 35,071 3558 | 1860 867 000 | 10,714 4127 | 000 813 0081 |
| 1231 | 151 53 61 | 35,085 6096 | 1865 409 391 | 10,717 3155 | 000 812 3477 |
| 1232 | 151 78 24 | 35,099 8575 | 1869 959 168 | 10,720 2168 | 000 811 6883 |
| 1233 | 152 02 89 | 35,114 0997 | 1874 516 337 | 10,723 1165 | 000 811 0300 |
| 1234 | 152 27 56 | 35,128 3361 | 1879 080 904 | 10,726 0146 | 000 810 3728 |
| **1235** | 152 52 25 | 35,142 5568 | 1883 652 875 | 10,728 9112 | 000 809 7166 |
| 1236 | 152 76 96 | 35,156 7917 | 1888 232 256 | 10,731 8062 | 000 809 0615 |
| 1237 | 153 01 69 | 35,171 0108 | 1892 819 053 | 10,734 6997 | 000 808 4074 |
| 1238 | 153 26 44 | 35,185 2242 | 1897 413 272 | 10,737 5916 | 000 807 7544 |
| 1239 | 153 51 21 | 35,199 4318 | 1902 014 919 | 10,740 4819 | 000 807 1025 |
| **1240** | 153 76 00 | 35,213 6337 | 1906 624 000 | 10,743 3707 | 000 806 4516 |
| 1241 | 154 00 81 | 35,227 8299 | 1911 240 521 | 10,746 2579 | 000 805 8018 |
| 1242 | 154 25 64 | 35,242 0204 | 1915 864 488 | 10,749 1436 | 000 805 1530 |
| 1243 | 154 50 49 | 35,256 2051 | 1920 495 907 | 10,752 0277 | 000 804 5052 |
| 1244 | 154 75 36 | 35,270 3842 | 1925 134 784 | 10,754 9103 | 000 803 8585 |
| **1245** | 155 00 25 | 35,284 5575 | 1929 781 125 | 10,757 7913 | 000 803 2129 |
| 1246 | 155 25 16 | 35,298 7252 | 1934 434 936 | 10,760 6708 | 000 802 5682 |
| 1247 | 155 50 09 | 35,312 8872 | 1939 096 223 | 10,763 5488 | 000 801 9246 |
| 1248 | 155 75 04 | 35,327 0435 | 1943 764 992 | 10,766 4252 | 000 801 2821 |
| 1249 | 156 00 01 | 35,341 1941 | 1948 441 249 | 10,769 3001 | 000 800 6405 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1250** | 156 25 00 | 35,355 3391 | 1953 125 000 | 10,772 1735 | 000 800 0000 |
| 1251 | 156 50 01 | 35,369 4784 | 1957 816 251 | 10,775 0453 | 000 799 3605 |
| 1252 | 156 75 04 | 35,383 6120 | 1962 515 008 | 10,777 9156 | 000 798 7220 |
| 1253 | 157 00 09 | 35,397 7400 | 1967 221 277 | 10,780 7843 | 000 798 0846 |
| 1254 | 157 25 16 | 35,411 8624 | 1971 935 064 | 10,783 6516 | 000 797 4482 |
| **1255** | 157 50 25 | 35,425 9792 | 1976 656 375 | 10,786 5173 | 000 796 8127 |
| 1256 | 157 75 36 | 35,440 0903 | 1981 385 216 | 10,789 3815 | 000 796 1783 |
| 1257 | 158 00 49 | 35,454 1958 | 1986 121 593 | 10,792 2441 | 000 795 5449 |
| 1258 | 158 25 64 | 35,468 2957 | 1990 865 512 | 10,795 1053 | 000 794 9126 |
| 1259 | 158 50 81 | 35,482 3900 | 1995 616 979 | 10,797 9649 | 000 794 2812 |
| **1260** | 158 76 00 | 35,496 4787 | 2000 376 000 | 10,800 8230 | 000 793 6508 |
| 1261 | 159 01 21 | 35,510 5618 | 2005 142 581 | 10,803 6797 | 000 793 0214 |
| 1262 | 159 26 44 | 35,524 6393 | 2009 916 728 | 10,806 5348 | 000 792 3930 |
| 1263 | 159 51 69 | 35,538 7113 | 2014 698 447 | 10,809 3884 | 000 791 7656 |
| 1264 | 159 76 96 | 35,552 7777 | 2019 487 744 | 10,812 2404 | 000 791 1392 |
| **1265** | 160 02 25 | 35,566 8385 | 2024 284 625 | 10,815 0909 | 000 790 5138 |
| 1266 | 160 27 56 | 35,580 8937 | 2029 089 096 | 10,817 9400 | 000 789 8894 |
| 1267 | 160 52 89 | 35,594 9434 | 2033 901 163 | 10,820 7876 | 000 789 2660 |
| 1268 | 160 78 24 | 35,608 9876 | 2038 720 832 | 10,823 6336 | 000 788 6435 |
| 1269 | 161 03 61 | 35,623 0262 | 2043 548 109 | 10,826 4782 | 000 788 0221 |
| **1270** | 161 29 00 | 35,637 0593 | 2048 383 000 | 10,829 3213 | 000 787 4016 |
| 1271 | 161 54 41 | 35,651 0869 | 2053 225 511 | 10,832 1629 | 000 786 7821 |
| 1272 | 161 79 84 | 35,665 1090 | 2058 075 648 | 10,835 0030 | 000 786 1635 |
| 1273 | 162 05 29 | 35,679 1255 | 2062 933 417 | 10,837 8416 | 000 785 5460 |
| 1274 | 162 30 76 | 35,693 1366 | 2067 798 824 | 10,840 6788 | 000 784 9294 |
| **1275** | 162 56 25 | 35,707 1421 | 2072 671 875 | 10,843 5144 | 000 784 3137 |
| 1276 | 162 81 76 | 35,721 1422 | 2077 552 576 | 10,846 3485 | 000 783 6991 |
| 1277 | 163 07 29 | 35,735 1367 | 2082 440 933 | 10,849 1812 | 000 783 0854 |
| 1278 | 163 32 84 | 35,749 1258 | 2087 336 952 | 10,852 0125 | 000 782 4726 |
| 1279 | 163 58 41 | 35,763 1095 | 2092 240 639 | 10,854 8422 | 000 781 8608 |
| **1280** | 163 84 00 | 35,777 0876 | 2097 152 000 | 10,857 6704 | 000 781 2500 |
| 1281 | 164 09 61 | 35,791 0603 | 2102 071 041 | 10,860 4972 | 000 780 6401 |
| 1282 | 164 35 24 | 35,805 0276 | 2106 997 768 | 10,863 3225 | 000 780 0312 |
| 1283 | 164 60 89 | 35,818 9894 | 2111 932 187 | 10,866 1454 | 000 779 4232 |
| 1284 | 164 86 56 | 35,832 9457 | 2116 874 304 | 10,868 9687 | 000 778 8162 |
| **1285** | 165 12 25 | 35,846 8966 | 2121 824 125 | 10,871 7897 | 000 778 2101 |
| 1286 | 165 37 96 | 35,860 8421 | 2126 781 656 | 10,874 6094 | 000 777 6050 |
| 1287 | 165 63 69 | 35,874 7822 | 2131 746 903 | 10,877 4271 | 000 777 0008 |
| 1288 | 165 89 44 | 35,888 7169 | 2136 719 872 | 10,880 2436 | 000 776 3975 |
| 1289 | 166 15 21 | 35,902 6461 | 2141 700 569 | 10,883 0587 | 000 775 7952 |
| **1290** | 166 41 00 | 35,916 5699 | 2146 689 000 | 10,885 8723 | 000 775 1938 |
| 1291 | 166 66 81 | 35,930 4884 | 2151 685 171 | 10,888 6845 | 000 774 5933 |
| 1292 | 166 92 64 | 35,944 4015 | 2156 689 088 | 10,891 4952 | 000 773 9938 |
| 1293 | 167 18 49 | 35,958 3092 | 2161 700 757 | 10,894 3044 | 000 773 3952 |
| 1294 | 167 44 36 | 35,972 2115 | 2166 720 184 | 10,897 1123 | 000 772 7975 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1295** | 167 70 25 | 35,986 1084 | 2171 747 375 | 10,899 9186 | 000 772 2008 |
| 1296 | 167 96 16 | 36,000 0000 | 2176 782 336 | 10,902 7235 | 000 771 6049 |
| 1297 | 168 22 09 | 36,013 8862 | 2181 825 073 | 10,905 5269 | 000 771 0109 |
| 1298 | 168 48 04 | 36,027 7671 | 2186 875 592 | 10,908 3290 | 000 770 4160 |
| 1299 | 168 74 01 | 36,041 6426 | 2191 933 899 | 10,911 1296 | 000 769 8229 |
| **1300** | 169 00 00 | 36,055 5128 | 2197 000 000 | 10,913 9287 | 000 769 2308 |
| 1301 | 169 26 01 | 36,069 3776 | 2202 073 901 | 10,916 7265 | 000 768 6395 |
| 1302 | 169 52 04 | 36,083 2271 | 2207 155 608 | 10,919 5228 | 000 768 0492 |
| 1303 | 169 78 09 | 36,097 0913 | 2212 245 127 | 10,922 3177 | 000 767 4579 |
| 1304 | 170 04 16 | 36,110 9402 | 2217 342 464 | 10,925 1111 | 000 766 8742 |
| **1305** | 170 30 25 | 36,124 7837 | 2222 447 625 | 10,927 9031 | 000 766 2835 |
| 1306 | 170 56 36 | 36,138 6220 | 2227 560 616 | 10,930 6937 | 000 765 6968 |
| 1307 | 170 82 49 | 36,152 4550 | 2232 681 443 | 10,933 4829 | 000 765 1109 |
| 1308 | 171 08 64 | 36,166 2826 | 2237 810 112 | 10,936 2706 | 000 764 5260 |
| 1309 | 171 34 81 | 36,180 1050 | 2242 946 629 | 10,939 0569 | 000 763 9419 |
| **1310** | 171 61 00 | 36,193 9221 | 2248 091 000 | 10,941 8418 | 000 763 3588 |
| 1311 | 171 87 21 | 36,207 7340 | 2253 243 231 | 10,944 6253 | 000 762 7765 |
| 1312 | 172 13 44 | 36,221 5406 | 2258 403 328 | 10,947 5074 | 000 762 1951 |
| 1313 | 172 39 69 | 36,235 3419 | 2263 571 297 | 10,950 1880 | 000 761 6146 |
| 1314 | 172 65 96 | 36,249 1379 | 2268 747 144 | 10,952 9673 | 000 761 0350 |
| **1315** | 172 92 25 | 36,262 6287 | 2273 930 875 | 10,955 7451 | 000 760 4563 |
| 1316 | 173 18 56 | 36,276 7143 | 2279 122 496 | 10,958 5215 | 000 759 8784 |
| 1317 | 173 44 89 | 36,290 4246 | 2284 322 013 | 10,961 2965 | 000 759 3014 |
| 1318 | 173 71 24 | 36,304 2697 | 2289 529 432 | 10,964 0701 | 000 758 7253 |
| 1319 | 173 97 61 | 36,318 0396 | 2294 744 759 | 10,966 8423 | 000 758 1501 |
| **1320** | 174 24 00 | 36,331 8042 | 2299 968 000 | 10,969 6131 | 000 757 5758 |
| 1321 | 174 50 41 | 36,345 5637 | 2305 199 161 | 10,972 3825 | 000 757 0023 |
| 1322 | 174 76 84 | 36,359 3179 | 2310 438 248 | 10,975 1505 | 000 756 4297 |
| 1323 | 175 03 29 | 36,373 0670 | 2315 685 267 | 10,977 9171 | 000 755 8579 |
| 1324 | 175 29 76 | 36,386 8108 | 2320 940 224 | 10,980 6823 | 000 755 2870 |
| **1325** | 175 56 25 | 36,400 5494 | 2326 203 125 | 10,983 4462 | 000 754 7170 |
| 1326 | 175 82 76 | 36,414 2829 | 2331 473 976 | 10,986 2086 | 000 754 1478 |
| 1327 | 176 09 29 | 36,428 0112 | 2336 752 783 | 10,988 9696 | 000 753 5795 |
| 1328 | 176 35 84 | 36,441 7343 | 2342 039 552 | 10,991 7293 | 000 753 0120 |
| 1329 | 176 62 41 | 36,455 4523 | 2347 334 289 | 10,994 4876 | 000 752 4454 |
| **1330** | 176 89 00 | 36,469 1650 | 2352 637 000 | 10,997 2445 | 000 751 8797 |
| 1331 | 177 15 61 | 36,482 8727 | 2357 947 691 | 11,000 0000 | 000 751 3148 |
| 1332 | 177 42 24 | 36,496 5752 | 2363 266 368 | 11,002 7541 | 000 750 7508 |
| 1333 | 177 68 89 | 36,510 2725 | 2368 593 037 | 11,005 5069 | 000 750 1875 |
| 1334 | 177 95 56 | 36,523 9647 | 2373 927 704 | 11,008 2583 | 000 749 6252 |
| **1335** | 178 22 25 | 36,537 6518 | 2379 270 375 | 11,011 0082 | 000 749 0637 |
| 1336 | 178 48 96 | 36,551 3388 | 2384 621 056 | 11,013 7569 | 000 748 5030 |
| 1337 | 178 75 69 | 36,565 0106 | 2389 979 753 | 11,016 5041 | 000 747 9432 |
| 1338 | 179 02 44 | 36,578 6823 | 2395 346 472 | 11,019 2500 | 000 747 3842 |
| 1339 | 179 29 21 | 36,592 3489 | 2400 721 219 | 11,021 9945 | 000 746 8260 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1340** | 179 56 00 | 36,606 0104 | 2406 104 000 | 11,024 7377 | 000 746 2687 |
| 1341 | 179 82 81 | 36,619 6668 | 2411 494 821 | 11,027 4795 | 000 745 7122 |
| 1342 | 180 09 64 | 36,633 3181 | 2416 893 688 | 11,030 2199 | 000 745 1565 |
| 1343 | 180 36 49 | 36,646 9144 | 2422 300 607 | 11,032 9590 | 000 744 6016 |
| 1344 | 180 63 36 | 36,660 6056 | 2427 715 584 | 11,035 6967 | 000 744 0476 |
| **1345** | 180 90 25 | 36,674 2416 | 2433 138 625 | 11,038 4330 | 000 743 4944 |
| 1346 | 181 17 16 | 36,687 8726 | 2438 569 736 | 11,041 1680 | 000 742 9421 |
| 1347 | 181 44 09 | 36,701 4986 | 2444 008 923 | 11,043 9017 | 000 742 3905 |
| 1348 | 181 71 04 | 36,715 1195 | 2449 456 192 | 11,046 6339 | 000 741 8398 |
| 1349 | 181 98 01 | 36,728 7353 | 2454 911 549 | 11,049 3649 | 000 741 2898 |
| **1350** | 182 25 00 | 36,742 3461 | 2460 375 000 | 11,052 0945 | 000 740 7407 |
| 1351 | 182 52 01 | 36,755 9519 | 2465 846 551 | 11,054 8227 | 000 740 1924 |
| 1352 | 182 79 04 | 36,769 5526 | 2471 326 208 | 11,057 5497 | 000 739 6450 |
| 1353 | 183 06 09 | 36,783 1483 | 2476 813 977 | 11,060 2752 | 000 739 0983 |
| 1354 | 183 33 16 | 36,796 7390 | 2482 309 864 | 11,062 9994 | 000 738 5524 |
| **1355** | 183 60 25 | 36,810 3246 | 2487 813 875 | 11,065 7222 | 000 738 0074 |
| 1356 | 183 87 36 | 36,823 9053 | 2493 326 016 | 11,068 4437 | 000 737 4631 |
| 1357 | 184 14 49 | 36,837 4809 | 2498 846 293 | 11,071 1639 | 000 736 9197 |
| 1358 | 184 41 64 | 36,851 0515 | 2504 374 712 | 11,073 8828 | 000 736 3770 |
| 1359 | 184 68 81 | 36,864 6172 | 2509 911 279 | 11,076 6003 | 000 735 8352 |
| **1360** | 184 96 00 | 36,878 1778 | 2515 456 000 | 11,079 3165 | 000 735 2941 |
| 1361 | 185 23 21 | 36,891 7335 | 2521 008 881 | 11,082 0314 | 000 734 7539 |
| 1362 | 185 50 44 | 36,905 2842 | 2526 569 928 | 11,084 7449 | 000 734 2144 |
| 1363 | 185 77 69 | 36,918 8299 | 2532 139 147 | 11,087 4571 | 000 733 6757 |
| 1364 | 186 04 96 | 36,932 3706 | 2537 716 544 | 11,090 1679 | 000 733 1378 |
| **1365** | 186 32 25 | 36,945 9064 | 2543 302 125 | 11,092 8775 | 000 732 6007 |
| 1366 | 186 59 56 | 36,959 4372 | 2548 895 896 | 11,095 5857 | 000 732 0644 |
| 1367 | 186 86 89 | 36,972 9631 | 2554 497 863 | 11,098 2926 | 000 731 5289 |
| 1368 | 187 14 24 | 36,986 4840 | 2560 108 032 | 11,100 9982 | 000 730 9942 |
| 1369 | 187 41 61 | 36,000 0000 | 2565 726 409 | 11,103 7025 | 000 730 4602 |
| **1370** | 187 69 00 | 36,013 5110 | 2571 353 000 | 11,106 4054 | 000 729 9270 |
| 1371 | 187 96 41 | 37,027 0172 | 2576 987 811 | 11,109 1070 | 000 729 3946 |
| 1372 | 188 23 84 | 37,040 5184 | 2582 630 848 | 11,111 8073 | 000 728 8630 |
| 1373 | 188 51 29 | 37,054 0146 | 2588 282 117 | 11,114 5064 | 000 728 3321 |
| 1374 | 188 78 76 | 37,067 5060 | 2593 941 624 | 11,117 2041 | 000 727 8020 |
| **1375** | 189 06 25 | 37,089 9924 | 2599 609 375 | 11,119 9004 | 000 727 2727 |
| 1376 | 189 33 76 | 37,094 4740 | 2605 285 376 | 11,122 5955 | 000 726 7442 |
| 1377 | 189 61 29 | 37,107 9506 | 2610 969 633 | 11,125 2893 | 000 726 2164 |
| 1378 | 189 88 84 | 37,121 4224 | 2616 662 152 | 11,127 9817 | 000 725 6894 |
| 1379 | 190 16 41 | 37,134 8893 | 2622 362 939 | 11,130 6729 | 000 725 1632 |
| **1380** | 190 44 00 | 37,148 3512 | 2628 072 000 | 11,133 3628 | 000 724 6377 |
| 1381 | 190 71 61 | 37,161 8084 | 2633 789 341 | 11,136 0514 | 000 724 1130 |
| 1382 | 190 99 24 | 37,175 2606 | 2639 514 968 | 11,138 7386 | 000 723 5890 |
| 1383 | 191 26 89 | 37,188 7079 | 2645 248 887 | 11,141 4246 | 000 723 0658 |
| 1384 | 191 54 56 | 37,202 1505 | 2650 991 104 | 11,144 1093 | 000 722 5434 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1385** | 191 82 25 | 37,215 5881 | 2656 741 625 | 11,146 7926 | 000 722 0217 |
| 1386 | 192 09 96 | 37,229 0209 | 2662 500 456 | 11,149 4747 | 000 721 5007 |
| 1387 | 192 37 69 | 37,242 4489 | 2668 267 603 | 11,152 1555 | 000 720 9805 |
| 1388 | 192 65 44 | 37,255 8720 | 2674 043 072 | 11,154 8350 | 000 720 4611 |
| 1389 | 192 93 21 | 37,269 2903 | 2679 826 869 | 11,157 5133 | 000 719 9424 |
| **1390** | 193 21 00 | 37,282 7037 | 2685 619 000 | 11,160 1903 | 000 719 4245 |
| 1391 | 193 48 81 | 37,296 1124 | 2691 419 471 | 11,162 8659 | 000 718 9073 |
| 1392 | 193 76 64 | 37,309 5162 | 2697 228 288 | 11,165 5403 | 000 718 3908 |
| 1393 | 194 04 49 | 37,322 9152 | 2703 045 457 | 11,168 2134 | 000 717 8751 |
| 1394 | 194 32 36 | 37,336 3094 | 2708 870 984 | 11,170 8852 | 000 717 3601 |
| **1395** | 194 60 25 | 37,349 6988 | 2714 704 875 | 11,173 5558 | 000 716 8459 |
| 1396 | 194 88 16 | 37,363 0834 | 2720 547 136 | 11,176 2250 | 000 716 3324 |
| 1397 | 195 16 09 | 37,376 4632 | 2726 397 773 | 11,178 8930 | 000 715 8196 |
| 1398 | 195 44 04 | 37,389 8382 | 2732 256 792 | 11,181 5598 | 000 715 3076 |
| 1399 | 195 72 01 | 37,403 2084 | 2738 124 199 | 11,184 2252 | 000 714 7693 |
| **1400** | 196 00 00 | 37,416 5738 | 2744 000 000 | 11,186 8894 | 000 714 2857 |
| 1401 | 196 28 01 | 37,429 9345 | 2749 884 201 | 11,189 5523 | 000 713 7759 |
| 1402 | 196 56 04 | 37,443 2904 | 2755 776 808 | 11,192 2139 | 000 713 2668 |
| 1403 | 196 84 09 | 37,456 6416 | 2761 677 827 | 11,194 8743 | 000 712 7584 |
| 1404 | 197 12 16 | 37,469 9880 | 2767 587 264 | 11,197 5334 | 000 712 2507 |
| **1405** | 197 40 25 | 37,483 3296 | 2773 505 125 | 11,200 1913 | 000 711 7438 |
| 1406 | 197 68 36 | 37,496 6665 | 2779 431 416 | 11,202 8479 | 000 711 2376 |
| 1407 | 197 96 49 | 37,509 9987 | 2785 366 143 | 11,205 5032 | 000 710 7321 |
| 1408 | 198 24 64 | 37,523 3261 | 2791 309 312 | 11,208 1573 | 000 710 2273 |
| 1409 | 198 52 81 | 37,536 6487 | 2797 260 929 | 11,210 8101 | 000 709 7232 |
| **1410** | 198 81 00 | 37,549 9667 | 2803 221 000 | 11,213 4617 | 000 709 2199 |
| 1411 | 199 09 21 | 37,563 2799 | 2809 189 531 | 11,216 1120 | 000 708 7172 |
| 1412 | 199 37 44 | 37,576 5885 | 2815 166 528 | 11,218 7611 | 000 708 2153 |
| 1413 | 199 65 69 | 37,589 8922 | 2821 151 997 | 11,221 4089 | 000 707 7141 |
| 1414 | 199 93 96 | 37,603 1913 | 2827 145 944 | 11,224 0054 | 000 707 2136 |
| **1415** | 200 22 25 | 37,616 4857 | 2833 148 375 | 11,226 7007 | 000 706 7138 |
| 1416 | 200 50 56 | 37,629 7754 | 2839 159 296 | 11,229 3448 | 000 706 2147 |
| 1417 | 200 78 89 | 37,643 0604 | 2845 178 713 | 11,231 9876 | 000 705 7168 |
| 1418 | 201 07 24 | 37,656 3407 | 2851 206 632 | 11,234 6292 | 000 705 2186 |
| 1419 | 201 35 61 | 37,669 6164 | 2857 243 059 | 11,237 2696 | 000 704 7216 |
| **1420** | 201 64 00 | 37,682 8874 | 2863 288 000 | 11,239 9087 | 000 704 2254 |
| 1421 | 201 92 41 | 37,696 1536 | 2869 341 461 | 11,242 5465 | 000 703 7298 |
| 1422 | 202 20 84 | 37,709 4153 | 2875 403 448 | 11,245 1831 | 000 703 2349 |
| 1423 | 202 49 29 | 37,722 6722 | 2881 473 967 | 11,247 8185 | 000 702 7407 |
| 1424 | 202 77 76 | 37,735 9245 | 2887 553 024 | 11,250 4527 | 000 702 2472 |
| **1425** | 203 06 25 | 37,749 1722 | 2893 640 625 | 11,253 0856 | 000 701 7544 |
| 1426 | 203 34 76 | 37,762 4152 | 2899 736 776 | 11,255 7173 | 000 701 2623 |
| 1427 | 203 63 29 | 37,775 6535 | 2905 841 483 | 11,258 3478 | 000 700 7708 |
| 1428 | 203 91 84 | 37,788 8873 | 2911 954 752 | 11,260 9770 | 000 700 2801 |
| 1429 | 204 20 41 | 37,802 1163 | 2918 076 589 | 11,263 6050 | 000 699 7901 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1430** | 204 49 00 | 37,815 3408 | 2924 207 000 | 11,266 2318 | 000 699 3007 |
| 1431 | 204 77 61 | 37,828 5606 | 2930 345 991 | 11,268 8573 | 000 698 8120 |
| 1432 | 205 06 24 | 37,841 7759 | 2936 493 568 | 11,271 4816 | 000 698 3240 |
| 1433 | 205 34 89 | 37,854 9864 | 2942 649 737 | 11,274 1047 | 000 697 8367 |
| 1434 | 205 63 56 | 37,868 1924 | 2948 814 504 | 11,276 7266 | 000 697 3501 |
| **1435** | 205 92 25 | 37,881 3938 | 2954 987 875 | 11,279 3472 | 000 696 8644 |
| 1436 | 206 20 96 | 37,894 5906 | 2961 169 856 | 11,281 9656 | 000 696 3788 |
| 1437 | 206 49 69 | 37,907 7828 | 2967 360 453 | 11,284 5849 | 000 695 8942 |
| 1438 | 206 78 44 | 37,920 9704 | 2973 559 672 | 11,287 2019 | 000 695 4103 |
| 1439 | 207 07 21 | 37,934 1538 | 2979 767 519 | 11,289 8177 | 000 694 9270 |
| **1440** | 207 36 00 | 37,947 3329 | 2985 984 000 | 11,292 4323 | 000 694 4444 |
| 1441 | 207 64 81 | 37,960 5058 | 2992 209 121 | 11,295 0457 | 000 693 9625 |
| 1442 | 207 93 64 | 37,973 6751 | 3098 442 888 | 11,297 6579 | 000 693 4813 |
| 1443 | 208 22 49 | 37,986 8398 | 3004 685 307 | 11,300 2688 | 000 693 0007 |
| 1444 | 208 51 36 | 38,000 0000 | 3010 936 384 | 11,302 8786 | 000 692 5208 |
| **1445** | 208 80 25 | 38,013 1556 | 3017 196 125 | 11,305 4871 | 000 692 0415 |
| 1446 | 208 09 16 | 38,026 3067 | 3023 464 536 | 11,308 0945 | 000 691 5629 |
| 1447 | 209 38 09 | 38,039 4532 | 3029 741 623 | 11,310 7006 | 000 691 0850 |
| 1448 | 209 67 04 | 38,052 5952 | 3036 027 392 | 11,313 3056 | 000 690 6078 |
| 1449 | 209 96 01 | 38,065 7326 | 3042 321 849 | 11,315 9094 | 000 690 1312 |
| **1450** | 210 25 00 | 38,078 8655 | 3048 625 000 | 11,318 5119 | 000 689 6552 |
| 1451 | 210 54 01 | 38,091 9939 | 3054 936 851 | 11,321 1132 | 000 689 1799 |
| 1452 | 210 83 04 | 38,105 1178 | 3061 257 408 | 11,323 7134 | 000 688 7052 |
| 1453 | 211 12 09 | 38,118 2371 | 3067 586 677 | 11,326 3124 | 000 688 2312 |
| 1454 | 211 41 16 | 38,131 3519 | 3073 924 664 | 11,328 9102 | 000 687 7579 |
| **1455** | 211 70 25 | 38,144 4622 | 3080 271 375 | 11,331 5067 | 000 687 2852 |
| 1456 | 211 99 36 | 38,157 5681 | 3086 626 816 | 11,334 1022 | 000 686 8132 |
| 1457 | 212 28 49 | 38,170 6693 | 3092 990 993 | 11,336 6964 | 000 686 3442 |
| 1458 | 212 57 64 | 38,183 7662 | 3099 363 912 | 11,339 2894 | 000 685 8711 |
| 1459 | 212 86 81 | 38,196 8585 | 3105 745 579 | 11,341 8813 | 000 685 4010 |
| **1460** | 213 16 00 | 38,209 9463 | 3112 136 000 | 11,344 4719 | 000 684 9315 |
| 1461 | 213 45 21 | 38,223 0297 | 3118 535 181 | 11,347 0614 | 000 684 4627 |
| 1462 | 213 74 44 | 38,236 1085 | 3124 943 128 | 11,349 6497 | 000 683 9945 |
| 1463 | 214 03 69 | 38 249 1829 | 3131 359 847 | 11,352 2368 | 000 683 5270 |
| 1464 | 214 32 96 | 38,262 2529 | 3137 785 344 | 11,354 8227 | 000 683 0601 |
| **1465** | 214 62 25 | 38,275 3184 | 3144 219 625 | 11,387 4075 | 000 682 5939 |
| 1466 | 214 91 56 | 38,288 3794 | 3150 662 696 | 11,359 9911 | 000 682 1282 |
| 1467 | 215 20 89 | 38,301 4360 | 3157 114 563 | 11,362 5735 | 000 681 6633 |
| 1468 | 215 50 24 | 38,314 4881 | 3163 575 232 | 11,365 1547 | 000 681 1989 |
| 1469 | 215 79 61 | 38,327 5358 | 3170 044 709 | 11,367 7347 | 000 680 7352 |
| **1470** | 216 09 00 | 38,340 5790 | 3176 523 000 | 11,370 3136 | 000 680 2721 |
| 1471 | 216 38 41 | 38,353 6178 | 3183 010 111 | 11,372 8914 | 000 679 8097 |
| 1472 | 216 67 84 | 38,366 6522 | 3189 506 048 | 11,375 4679 | 000 679 3478 |
| 1473 | 216 97 29 | 38,379 6821 | 3196 010 817 | 11,378 0433 | 000 678 8866 |
| 1474 | 217 26 76 | 38,392 7076 | 3202 524 424 | 11,380 6175 | 000 678 4261 |

| Nomb. | CARRÉS. | RACINES CARRÉES. | CUBES. | RACINES CUBIQUES. | RÉCIPROQUES |
|---|---|---|---|---|---|
| **1475** | 217 56 25 | 38,405 7287 | 3209 046 875 | 11,383 1906 | 000 677 9661 |
| 1476 | 217 85 76 | 38,418 7454 | 3215 578 176 | 11,385 7625 | 000 677 5068 |
| 1477 | 218 15 29 | 38,431 7577 | 3222 118 333 | 11,388 3332 | 000 677 0481 |
| 1478 | 218 44 84 | 38,444 7656 | 3228 667 352 | 11,390 9028 | 000 676 5900 |
| 1479 | 218 74 41 | 38,457 7691 | 3235 225 239 | 11,393 4712 | 000 676 1325 |
| **1480** | 219 04 00 | 38,470 7681 | 3241 792 000 | 11,396 0384 | 000 675 6757 |
| 1481 | 219 33 61 | 38,483 7627 | 3248 367 641 | 11,398 6045 | 000 675 2194 |
| 1482 | 219 63 24 | 39,496 7530 | 3254 952 168 | 11,401 1695 | 000 674 7638 |
| 1483 | 219 92 89 | 38,509 7390 | 3261 545 587 | 11,403 7332 | 000 674 3088 |
| 1484 | 220 22 56 | 38,522 7206 | 3268 147 904 | 11,406 2959 | 000 673 8544 |
| **1485** | 220 52 25 | 38,535 6977 | 3274 759 125 | 11,408 8574 | 000 673 4007 |
| 1486 | 220 81 96 | 38,548 6705 | 3281 379 256 | 11,411 4177 | 000 672 9474 |
| 1487 | 221 11 69 | 35,561 6389 | 3288 008 303 | 11,413 9769 | 000 672 4950 |
| 1488 | 221 41 44 | 38,574 6030 | 3294 646 272 | 11,416 5349 | 000 672 0430 |
| 1489 | 221 71 21 | 38,587 5627 | 3301 293 169 | 11,419 0918 | 000 671 5917 |
| **1490** | 222 01 00 | 38,600 5181 | 3307 949 000 | 11,420 6476 | 000 671 1409 |
| 1491 | 222 30 81 | 38,613 4691 | 3314 613 771 | 11,424 2022 | 000 670 6908 |
| 1492 | 222 60 64 | 38,626 4158 | 3321 287 488 | 11,426 7556 | 000 670 2413 |
| 1493 | 222 90 49 | 38,639 3582 | 3327 970 157 | 11,429 3079 | 000 669 7924 |
| 1494 | 223 20 36 | 38,652 2962 | 3334 661 784 | 11,431 8591 | 000 669 3440 |
| **1495** | 223 50 25 | 38,665 2299 | 3341 362 375 | 11,434 4092 | 000 668 8963 |
| 1496 | 223 80 16 | 36,678 1593 | 3348 071 936 | 11,436 9581 | 000 668 4492 |
| 1497 | 224 10 09 | 38,691 0843 | 3354 790 473 | 11,439 5059 | 000 668 0027 |
| 1498 | 224 40 04 | 38,704 0050 | 3361 517 992 | 11,442 0525 | 000 667 5567 |
| 1499 | 224 70 01 | 38,716 9214 | 3368 254 499 | 11,444 5980 | 000 667 1114 |
| **1500** | 225 00 00 | 38,729 8335 | 3375 000 000 | 11,447 1424 | 000 666 6667 |

# PROPOSITIONS ET FORMULES MATHÉMATIQUES

## ARITHMÉTIQUE ET ALGÈBRE.

### PUISSANCES ET RACINES DES NOMBRES.

La table (p. 39), donne les carrés, les cubes, les racines carrées et les racines cubiques des *nombres entiers* compris entre 1 et 1500.

La même table peut visiblement servir pour les *nombres entiers supérieurs à* 1500, et pour les *nombres fractionnaires décimaux*. Il suffit de se rappeler que si un nombre est multiplié par 10, son carré est multiplié par 100, son cube par 1000 et réciproquement.

Exemple : Le carré de 0,237 s'obtient en cherchant celui de 237 et le divisant par 1,000,000; le cube de 1,8 s'obtient en cherchant celui de 18 et le divisant par 1000; la racine carrée de 27663 est comprise entre 166,13 et 166,43, parce qu'elle est dix fois plus grande que la racine carrée de 276,33, comprise elle-même entre celles de 276 et de 277; la racine cubique de 0,9 s'obtient en cherchant celle de 900 et la divisant par 10.

La table (p. 3), donne les racines de quelques nombres fractionnaires.

La table (p. 15), fournit les puissances 4e et 5e des nombres, et peut, inversement, servir à calculer les racines 4e et 5e.

Exemple : La racine 5e de 30 millions est comprise entre 31 et 32.

Les racines de degré plus élevé s'obtiennent assez facilement par l'emploi des logarithmes; toutefois, nous croyons utile d'indiquer la méthode suivante, qui est fort peu connu et cependant très-commode.

Soit A le nombre dont on veut obtenir la racine $m^{\text{ième}}$; cherchez un nombre $a$ qui, élevé à la puissance $m$, approche convenablement de A en plus ou moins : la racine $m^{\text{ième}}$ de A sera, plus approximativement,

$$\sqrt[m]{A} = \frac{a[(m-1)a^m + (m+1)A]}{(m+1)a^m + (m-1)A}.$$

Ainsi, soit demandé $\sqrt[5]{30}$; on a $m=5$, $a=2$, car $a^5=32$; d'où :

$$\sqrt[5]{30}=\frac{2[4\times32+6\times30]}{6\times32+4\times30}=1.97436.$$

Si l'on voulait une seconde approximation, on ferait $a=1.97$, d'où $a^5=29.670928$, et la formule générale donnerait cette fois :

$$\sqrt[5]{30}=1.9743504 \text{ racine très-rapprochée.}$$

## PROGRESSIONS.

### *Progression arithmétique ou par différence.*

Elle est de la forme $a.a+d.a+2d \ldots a+(n-1)d \ldots$ chaque terme surpassant le précédent de la *raison d.*

Valeur du terme de rang $n$, . . . . . $l=a+(n-1)d$;

Somme des $n$ premiers termes, . . . . $s=\frac{a+l}{2}n$;

Somme des $n$ premiers nombres entiers $s=\frac{n(n+1)}{2}$;

Raison de la progression formée en insérant $m$ moyennes entre $a$ et $b$, . $d'=\frac{b-a}{m+1}$.

### *Progression géométrique ou par quotient.*

Elle est de la forme $a : aq : aq^2 : \ldots aq^{n-1}$, chaque terme étant égal au précédent multiplié par la *raison* $q$.

Valeur du terme de rang $n$, $l=aq^{n-1}$;

Somme des $n$ premiers termes, $s=\frac{a(q_n-1)}{q-1}=\frac{a(1-q_n)}{1-q}$

Somme des termes en nombre infini, dans le cas de $q<1$, $s=\frac{a}{1-q}$;

Raison de la progression formée en insérant $m$ moyenne entre $a$ et $b$, . . . . . $q'=\sqrt[m+1]{\frac{b}{a}}$.

## LOGARITHMES.

L'égalité $a^x = y$ définit le *logarithme x du nombre y* dans le système dont la *base* est $a$.

Si les logarithmes sont en progression arithmétique, les nombres sont en progression géométrique, et réciproquement. Le logarithme de 1 est 0; celui de la base est 1.

*Propriétés des logarithmes.* — Le logarithme d'un produit est égal à la somme des logarithmes des facteurs. Exemple :

$$\log a.b.c.d. = \log a + \log b + \log c + \log d.$$

Le logarithme d'un quotient est égal à la différence des logarithmes. Exemple :

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b.$$

Le logarithme de la puissance d'un nombre est égal au logarithme du nombre multiplié par l'exposant. Exemple :

$$\log a^n = n \log a.$$

Le logarithme d'une racine d'un nombre est égal au logarithme du nombre divisé par l'indice de la racine Exemple :

$$\log \sqrt[n]{a} = \frac{\log a}{n}.$$

Le logarithme d'un nombre plus grand que l'unité est positif.

Le logarithme d'un nombre plus petit que l'unité est négatif.

On appelle caractéristique la partie entière d'un logarithme.

*Logarithmes vulgaires.* — Les logarithmes vulgaires ont 10 pour base.

Si un nombre $y$ est plus grand que 1, la *caractéristique* de son logarithme renferme autant d'unités moins une, que $y$ a de chiffres à sa partie entière.

Si un nombre $y$ est plus petit que 1, la partie décimale de son logarithme est celle du nombre $y$ dans lequel on fait abstraction de la virgule; mais la caractéristique est négative et renferme autant d'unité, plus une, que $y$ a de zéros immédiatement après la virgule.

Nous donnons (p. 4), une table des logarithmes vulgaires; dans cette table on a fait abstraction de la caractéristique.

La colonne marquée N contient les deux premiers chiffres du nombre, le troisième est placé sur les lignes horizontales extrêmes de la page, en tête de la colonne correspondante. La colonne marquée *Diff.* contient la différence moyenne de deux logarithmes consécutifs d'une même ligne horizontale : cette différence, par une règle de proportion, peut servir à calculer le logarithme d'un nombre compris entre deux des nombres consécutifs de la table.

*Logarithmes népériens.* — Outre les logarithmes vulgaires ou de Briggs, dont la base est 10, on fait encore usage dans les calculs des logarithmes népériens ou hyperboliques, dont la base est le nombre qui est la somme de la série :

$$1+\frac{1}{2}+\frac{1}{1.2}+\frac{1}{1.2.3}+\frac{1}{1.2.3.4}+\frac{1}{1.2.3.4.5.}+\text{etc.}$$

On désigne ce nombre par $e$.

$$e=2{,}71828\ 18284\ 59.\ldots.$$

Son logarithme vulgaire est :

$$M=0{,}4342\ 9448.\ldots.$$

Entre le log. nép. d'un nombre et son logarithme vulgaire, on a la relation :

$$\text{Log. nép.}=\frac{1}{M}\text{log. vulg.}=2{,}302\ 585910\times\text{log. vulg.}$$

$$\text{Log. vulg.}=M\,\text{log. nép.}=0{,}434\ 2944819\times\text{log. nép.}$$

**Table pour la conversion des logarithmes.**

| | VULGAIRES EN NÉPÉRIENS : Multiples du facteur $\frac{1}{M}$. | NÉPÉRIENS EN VULGAIRES : Multiples du facteur M : |
|---|---|---|
| 1 | 2,30258 50930 | 0,43429 44819 |
| 2 | 4,60517 01860 | 0,86858 89638 |
| 3 | 6,90775 52790 | 1,30288 34457 |
| 4 | 9,21034 0[illegible]720 | 1,73717 79276 |
| 5 | 11,51292 54650 | 2,17147 24095 |
| 6 | 13,81551 05580 | 2,60576 68914 |
| 7 | 16,11809 56510 | 3,04006 13733 |
| 8 | 18,42068 07440 | 3,47435 58552 |
| 9 | 20,72326 58369 | 3,90865 03371 |
| | Log. vulg. $\frac{1}{M}=0{,}362\ 2157.$ | Log. vul. $M=\bar{1}{,}637\ 7843.$ |

## RÉSOLUTION DES ÉQUATIONS.

*Équations du premier degré.*

$$ax+by=c,$$
$$a'x+b'y=c'.$$

$$x=\frac{cb'-bc'}{ab'-ba'},\qquad y=\frac{ac'-ca'}{ab'-ba'}$$

*Équations du second degré.*

$$x^2+px+q=0,\qquad x=-\frac{p}{2}\pm\sqrt{\frac{p^2}{4}-q},$$

$$ax^2+bx+c=0,\qquad x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a},$$

$$x+y=s,\qquad xy=p;\qquad x=\frac{s+\sqrt{s^2-4p}}{2},\ y=\frac{s-\sqrt{s^2-4p}}{2}.$$

*Équation indéterminée du* 2e *degré* ou des triangles rectangles

$$x^2+y^2=z^2.$$

Elle se résout en nombres entiers en faisant

$$x=2\,\mathrm{E}\qquad y=\mathrm{E}^2-1\qquad z=\mathrm{E}^2+1$$

Les nombres $x, y, z$ peuvent servir à mener une perpendiculaire à l'extrémité d'une ligne qu'on ne peut prolonger; on prendra par exemple :

3, 4 et 5; 5, 12 et 13; 20, 21 et 29,

nombres qu'on peut multiplier par un facteur commun.

## ARRANGEMENTS, PERMUTATIONS, COMBINAISONS

Nombre *d'arrangements* de $m$ objets $n$ à $n$ :

$$\mathrm{A}_{m,n}=m\,(m-1)\,(m-2)\,.\ .\ .\ .\ .\ (m-n+1).$$

Nombre de *permutations* de $n$ objets :

$$\mathrm{P}_n=1.2.3.\ .\ .\ .\ .\ n.$$

Nombre de *combinaisons* de $m$ objets $n$ à $n$ :

$$C_{m,n}=\frac{m(m-1)(m-2)\ldots\ldots(m-n+1)}{1.2.3\ldots\ldots n}.$$

FORMULE DU BINOME DE NEWTON :

$$(a+b)^m=a^m+\frac{m}{1}a^{m-1}b+\frac{m(m-1)}{1.2}a^{m-2}b^2+\frac{m(m-1)(m-2)}{1.2.3}a^{m-3}b^3+\ldots\ldots+b^m$$

INTERPOLATION.

Deux variables $x$ et $y$ sont liées entre elles par une loi inconnue; on sait qu'aux valeurs numériques .

$$x_1, x_2, x_3, x_4,$$

de $x$, répondent les valeurs numériques :

$$y_1, y_2, y_3, y_4,$$

de $y$; on veut obtenir *l'expression générale* de la loi qui lie entre elles les valeurs connues, et qui pourra donner approximativement la valeur de $y$ répondant à une valeur de $x$ choisie arbitrairement dans le voisinage de $x_1$, $x_2$. $x_3$, $x_4$.

On a, pour cela, recours à la formule empirique

$$y=A_1y_1+A_2y_2+A_3y_3+A_4y_4,$$

donnée par Lagrange, et dans laquelle il faut poser :

$$A_1=\frac{(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)(x_1-x_4)},$$

$$A_2=\frac{(x-x_1)(x-x_3)(x-x_4)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)(x_2-x_4)},$$

$$A_3=\frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_4)}{(x_3-x_1)(x_3-x_2)(x_3-x_4)},$$

$$A_4=\frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_4-x_1)(x_4-x_2)(x_4-x_3)},$$

coefficients dont la loi est facile à saisir. On voit, en effet, que leurs munérateurs et leurs dénominateurs ont chacun

autant de facteurs *moins un* qu'il y a de couples de valeurs simultanées connues d'avance, et ici, par exemple, trois facteurs pour quatre couples. D'ailleurs, $x_1$ qui n'entre pas au numérateur du *premier* coefficient $A_1$, est au contraire le premier terme de chaque différence à son dénominateur; $x_2$, qui n'entre pas au numérateur du *second* coefficient $A_2$, est au contraire le premier terme des différences que contient son dénominateur, et ainsi de suite.

Exemples : *Des causes quelconques* $x$, dont l'intensité a été mesurée par les nombres :

$$x_1=1 \quad x_2=3 \quad x_3=4 \quad x_4=6$$

*ont produit des effets* $y$ mesurés eux-mêmes par les nombres:

$$y_1=4 \quad y_2=20 \quad y_3=35 \quad y_4=84.$$

La loi qui lie ces effets à leurs causes aura ainsi pour expression :

$$y=\frac{(x-3)\,(x-4)\,(x-6)}{(1-3)\,(1-4)\,(1-6)}\times 4+\frac{(x-1)\,(x-4)\,(x-6)}{(3-1)\,(3-4)\,(3-6)}\times 20$$
$$+\frac{(x-1)\,(x-3)\,(x-6)}{(4-1)\,(4-3)\,(4-6)}\times 35+\frac{(x-1)\,(x-3)\,(x-4)}{(6-1)\,(6-3)\,(6-4)}\times 84$$

qui se réduit finalement à :

$$y=\frac{1}{6}\left[x^3+6x^2+11x+6\right]$$

relation à l'aide de laquelle on trouvera toute valeur intermédiaire de $y$ correspondante à une valeur intermédiaire de $x$; ainsi $x=5$ donnerait $y=56$.

On parvient ainsi à lier par l'expression générale d'une loi *physique* une foule de phénomènes dépendants l'un de l'autre et qui ne sont réellement régis par aucune loi *mathématique*.

*Déterminer l'équation d'une courbe dont on connaît quatre abscisses* $x$ *et les quatre ordonnées correspondantes* $y$, savoir :

$$x_1=0 \quad x_2=3 \quad x_3=6 \quad x_4=10$$
$$y_1=6 \quad y_2=7 \quad y_3=8 \quad y_4=9$$

On trouvera pour l'équation de cette courbe :

$$y=6+\frac{131}{420}x+\frac{3}{280}x^2-\frac{1}{840}x$$

### MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS

L'étude des lois d'un phénomène conduit souvent, entre des variables $x, y, z$, à une équation de la forme :

$$x + ay + bz + \ldots\ldots + k = o \qquad (1)$$

On connaît, par l'observation directe, les groupes de valeurs simultanées :

$$x_0, y_0, z_0, \ldots ; \quad x_1, y_1, z_1, \ldots ; \quad x_2, y_2, z_2 \ldots ;$$

et c'est en substituant ces valeurs dans l'équation (1) qu'on obtiendra des relations en nombre convenable pour déterminer les constantes $a, b, \ldots\ldots k$.

Or, il arrive ordinairement que le nombre des relations qu'on peut ainsi écrire est plus grand que celui des constantes à déterminer. On ramène ces relations à ce dernier nombre en employant la méthode de *Legendre* dont voici l'énoncé.

Soit $n$ le nombre des groupes de valeurs; désignons par $Sx$, $Sy^2$, $Sxy \ldots$ la somme des $n$ quantités semblables c'est-à-dire, posons :

$$\begin{aligned} Sx &= x_0 + x_1 + \ldots\ldots + x_{n-1} \\ Sy^2 &= y^2_0 + y_1^2 + \ldots\ldots + y^2_{n-1} \\ &\text{etc.} \ldots\ldots \end{aligned}$$

Cela posé, *pour former l'équation relative à l'un des coefficients, multipliez respectivement chacune des relations telles que* (1) *par la valeur particulière de la variable qui affecte ce coefficient, et égalez à zéro la somme de toutes les relations ainsi multipliées.* Ainsi l'équation relative à $a$ est :

$$Sxy + aSy^2 + bSzy + \ldots\ldots + kSy = o$$

pour $b$,

$$Sxz + aSyz + bSz^2 + \ldots\ldots + kSz = o$$

. . . . . .

. . . . . .

pour $k$,

$$Sx + aSy + bSz + \ldots\ldots + nk = o.$$

Les équations ainsi obtenues sont en nombre égal à celui des coefficients $a, b, \ldots k$.

## TRIGONOMÉTRIE

*Lignes trigonométriques usuelles* d'un arc $x$ compris de 0 à 180 degrés, et mesuré sur un cercle dont le rayon est 1 :

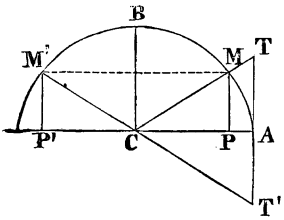
| $x$ | $\sin x$ | $\cos x$ | $\operatorname{tg} x$ | $\operatorname{séc} x$ |
|---|---|---|---|---|
| AM | MP | CP | AT | $CT = \frac{1}{\cos x}$ |
| 90° | 1 | 0 | $\pm\infty$ | $\pm\infty$ |
| AM' | $+M'P' = \sin(180-x)$ | $-CP' = -\cos(180-x)$ | $-AT' - \operatorname{tg}(180-x)$ | $-CT$ |

*Arcs complémentaires.*

$a+b=90°$, $\sin a=\cos b$, $\operatorname{tg} a=\operatorname{cotg} b$, $\operatorname{séc} a=\operatorname{coséc} b$.

***Relations entre les lignes trigonométriques d'un même arc $x$.***

Fig. 1.




$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$, $\operatorname{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x}$, $\operatorname{cotg} x = \frac{\cos x}{\sin x}$, $\operatorname{séc} x = \frac{1}{\cos x}$ $\operatorname{coséc} x = \frac{1}{\sin x}$, $\operatorname{tg} x \operatorname{cotg} x = 1$, $\operatorname{séc}^2 x = 1 + \operatorname{tg}^2 x$.

$\sin x = \frac{\pm \operatorname{tg} x}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 x}}$ $\cos x = \frac{\pm 1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 x}}$.

| | ANGLES. | SINUS | TANGENTES |
|---|---|---|---|
| Quelques valeurs utiles à connaître. | 30° | $\frac{1}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ |
| | 45° | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | 1 |
| | 60° | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\sqrt{3}$ |

*Formules relatives aux sommes ou aux différences d'arcs.*

$$\text{Sin}(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \sin b \cos a,$$
$$\text{Cos}(a \pm b) = \cos a \cos b \mp \sin a \sin b,$$
$$\text{Tg}(a \pm b) = \frac{\text{tg}\, a \pm \text{tg}\, b}{1 \mp \text{tg}\, a\, \text{tg}\, b};$$
$$\text{Sin}\, p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2},$$
$$\text{Sin}\, p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2},$$
$$\text{Cos}\, p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2},$$
$$\text{Cos}\, q - \cos p = 2 \sin \frac{p+q}{2} \sin \frac{p-q}{2},$$
$$\text{Sin}\, p + \sin q : \sin p - \sin q :: \text{tg} \frac{p+q}{2} : \text{tg} \frac{p-q}{2}.$$

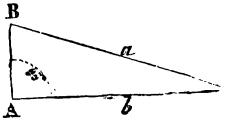
*Formules relatives à la multiplication ou à la division des arcs.*

$$\text{Sin}\, 2x = 2 \sin x \cos x, \quad \cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x, \quad \text{tg}\, 2x = \frac{2\, \text{tg}\, x}{1 - \text{tg}^2 x};$$
$$\text{Sin} \frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos x}{2}}, \quad \cos \frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos x}{2}}$$
$$\text{tg} \frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos x}{1 + \cos x}} = \frac{-1}{\text{tg}\, x} + \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2 x} + 1}.$$
$$\text{Sin}\, 3x = \sin x\, (4 \cos^2 x - 1)$$
$$\text{Cos}\, 3x = 4 \cos^3 x - 3 \cos x.$$

RÉSOLUTION DES TRIANGLES.

*Triangles rectangles.*

Fig. 2.




Relations $\begin{cases} b = a \sin B, \ c = a \cos B, \\ b = c\, \text{tg}\, B. \end{cases}$

Si l'on donne un côté et un angle, on détermine séparément les autres éléments.

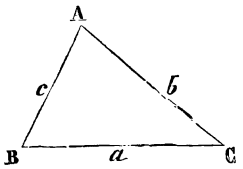
Si l'on donne $b$ et $c$, on détermine successivement B, C et $a$.

Si l'on donne $a$ et $b$, on détermine successivement B, C et ou séparément $c$ par la formule $c = \sqrt{(a-b)\,(a+b)}$.

*Triangles quelconques.*

$$\text{Relations}\begin{cases} A+B+C'=180^\circ, \dfrac{a}{\sin A}=\dfrac{b}{\sin B}=\dfrac{c}{\sin C}, \\ a^2=b^2+c^2-2bc\cos A. \end{cases}$$

Fig. 3.




Si l'on donne deux angles et un côté, ou deux côtés et un angle opposé à l'un d'eux, les formules déterminent immédiatement les autres éléments, sauf l'ambiguité du second cas

Si l'on donne $b, c, A$, on a recours aux formules :

$$\frac{1}{2}(C+B)=90^\circ-\frac{1}{2}A, \quad \operatorname{tg}\frac{1}{2}(C-B)=\frac{c-b}{c+b}\operatorname{cotg}\frac{1}{2}A,$$

qui déterminent B et C, et permettent ensuite de calculer $a$ par logarithmes.

Si l'on donne $a, b, c$, on pose $a+b+c=2p$, puis :

$$\sin\frac{1}{2}A=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c}{bc}}, \cos\frac{1}{2}A\sqrt{\frac{p(p-a)}{bc}}, \operatorname{tg}\frac{1}{2}A=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c}{p(p-a)}},$$

en évitant de recourir au *cosinus* si l'angle est très-petit, ou au *sinus* si l'angle diffère peu de 90°.

La table (p. 6), donne les valeurs des lignes trigonométriques naturelles, valeurs qui se prêtent à l'application immédiate des formules précédentes.

## GÉOMÉTRIE

### AIRES DES SURFACES PLANES, RELATIONS QUI S'Y RAPPORTENT.

*Triangle.* — Appelons T la surface du triangle, $a, b, c$ ses côtés, A, B C ses angles, $2p$ son périmètre, $r$ le rayon du cercle inscrit, R le rayon du cercle circonscrit ; soit $h$ la hauteur répondant au côté $b$, pris pour base on a :

$$T=\frac{1}{2}bh=\frac{1}{2}bc\sin A=\frac{c^2}{2}\frac{\sin A\sin B}{\sin(A+B)}=\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$
$$=rp=\frac{abc}{4R}.$$

*Parallélogramme ou rectangle.* — L'aire est égale au produit de la base par la hauteur.

*Trapèze.* — L'aire est égale à la demi-somme des bases multipliée par la hauteur, ou au produit de la hauteur par la droite qui joint les milieux des côtés non parallèles.

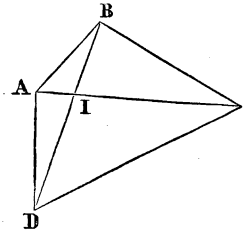
*Quadrilatère inscriptible à un cercle.* — Si $a, b, c, d$ désignent ses côtés sa surface est :

$$Q=\sqrt{(p-a)\,(p-b)\,(p-c)\,(p-d)}, \text{ avec } 2p=a+b+c+d.$$

*Quadrilatère quelconque.*

$$Q=\frac{1}{2}\left[\mathrm{AB.\,BC.\,sin\,B+CD.\,DA.\,sin\,D}\right]=\frac{1}{2}\mathrm{AC.\,BD.\,sin\,I}.$$

Fig. 4.




*Polygone quelconque.* — On le décompose en triangles dont on évalue les aires séparément.

*Cercle.* — $r$ désignant le rayon et $d$ le diamètre, on a :

Longueur de la circonférence $= 2\pi r = \pi d$.

Aire du cercle $= \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{d^2}{1{,}273}$ $= 0{,}7854\, d^2$.

*Secteur et segment* correspondant à un arc d'un nombre $n$ de degrés.

Aire du secteur $= \frac{n}{360}\pi r^2$.

Aire du segment $= \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{n\pi}{180} - \sin n\right)$.

Pour les valeurs relatives à $\pi$, (voir p. 1); pour le calcul des arcs et segments, (p. 33).

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DU CERCLE ET DU CARRÉ.

| | | |
|---|---|---|
| Diamètre du cercle . . . | × 0,8862 | = le côté du carré équivalent. |
| Circonférence du cercle. | × 0,2821 | = le côté du carré équivalent. |
| Diamètre. . . . . | × 0,7071 | = le côté du carré inscrit. |
| Circonférence . . . . . | × 0,2251 | = le côté du carré inscrit. |
| Surface du cercle . . . . | × 0,6366 | = la surface du carré inscrit. |
| Côté du carré . . . . . | × 1,414 | = le diam. du cercle circonscrit. |
| Côté du carré . . . . . | × 4,443 | = la circ. du cercle circonscrit. |
| Côté du carré . . . . . | × 1,128 | = le diamètre du cercle équivalent. |
| Côté du carré . . . . . | × 3,545 | = la circonf. du cercle équivalent. |
| Surface du carré. . . . . | × 1,571 | = la surface du cercle circonscrit. |

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DU CERCLE ET CEUX DES POLYGONES RÉGULIERS.

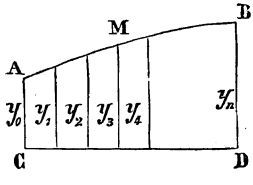
| NOMS des POLYGONES. | NOMBRE des CÔTÉS. | APOTHÈME le côté étant 1. | SURFACE, le carré construit sur le côté étant 1. | ANGLE intérieur | ANGLE central. | COTÉ du polygone le rayon du cercle circonscrit étant 1. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Triangle. . . | 3 | 0.2 886 751 | 0.4 330 127 | 60° 0′ | 120° 0′ | 1.7 320 508 |
| Carré . . . . | 4 | 0.5 | 1. | 90 0 | 90 0 | 1.4 142 136 |
| Pentagone. . | 5 | 0.6 881 910 | 1.7 204 774 | 108 0 | 72 0 | 1.1 755 705 |
| Hexagone. . | 6 | 0.8 660 254 | 2.5 980 762 | 120 0 | 60 0 | 1. |
| Eptagone . . | 7 | 1.0 382 607 | 3.6 339 124 | 128 34 $\frac{2}{7}$ | 51 25 $\frac{2}{7}$ | 0.8 677 674 |
| Octogone . . | 8 | 1.2 071 068 | 4.8 284 271 | 135 0 | 45 0 | 0.7 653 668 |
| Ennéagone . | 9 | 1.3 737 387 | 6.1 818 242 | 140 0 | 40 0 | 0.6 840 403 |
| Décagone . . | 10 | 1.5 388 418 | 7.6 942 088 | 144 0 | 36 0 | 0.6 180 340 |
| Undécagone | 11 | 1.7 028 436 | 9.3 656 399 | 147 16 $\frac{1}{11}$ | 32 43 $\frac{7}{11}$ | 0.5 634 651 |
| Dodécagone. | 12 | 1.8 660 254 | 11.1 961 524 | 150 0 $\frac{0}{11}$ | 30 0 | 0.5 176 381 |

*Polygone régulier* dont K est le côté, $n$ le nombre de côtés et P l'aire.

P = périmètre × moitié de l'apothème

$$P = nK \times \tfrac{1}{2} \cdot \frac{K}{2} \text{ cotang.} \frac{180^\circ}{n} = \tfrac{1}{4} n K^2 \text{ cotang.} \frac{180^\circ}{n}.$$

Fig. 5.




*Évaluation approchée de l'aire comprise entre un arc de courbe plane, une droite située dans son plan, et les perpendiculaires abaissées des deux extrémités de l'arc sur la droite.* — Entre les ordonnées extrêmes AC et BD de l'arc AB, on mène $n-1$ ordonnées divisant le segment CD en $n$ parties égales entre elles et à $h$; on appelle $y_0, y_1, y_2, \ldots y^n$ les $n+1$ ordonnées, et S l'aire cherchée. On a approximativement S par l'une des méthodes suivantes :

*Méthode des trapèzes.*

$$S = h\left[\tfrac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + \ldots + y_{n-2} + y_{n-1} + \tfrac{1}{2} y_n\right];$$

*Méthode de Thomas Simpson* (1), qui suppose $n$ pair :

$$S = \tfrac{1}{3} h\left[y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + \ldots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \ldots + y_{n-2})\right];$$

(1) Voir comparaison entre ces méthodes : *Annales du Génie civil*, année 1874.

*Méthode de Poncelet*, qui suppose $n$ pair :

$$S=h\left[\tfrac{1}{4}(y_0+y_n)-\tfrac{1}{4}(y_1+y_{n-1})+2(y_1+y_3+\ldots+y_{n-1})\right].$$

Cette dernière n'emploie pas toutes les ordonnées.

*Méthode déduite de l'emploi des formules d'interpolation.* Si l'on avait préalablement obtenu par les formules *d'interpolation* (page 78) l'équation interpolaire qui lie les abscisses et les ordonnees équidistantes ou non équidistantes de la courbe, l'aire A de la courbe s'en déduirait.

Soit prise pour exemple l'équation (page 79).

$$y=6+\frac{131}{420}x+\frac{3}{280}x^2-\frac{1}{840}x^3$$

Multipliant tous les termes par $dx$ (voir calcul infinétésimal), il vient :

$$y\,dx=6\,dx+\frac{131}{420}x\,dx+\frac{3}{280}x^2\,dx-\frac{1}{840}x^2\,dx,$$

intégrant on a, en remarquant que $\int y\,dx$ est l'aire A cherchée

$$A=6x+\frac{131\times x^2}{420\times 2}+\frac{3\times x^3}{280\times 3}-\frac{1\times x^4}{840\times 4}+\text{constante};$$

or, la constante est nulle puisque $A=0$ lorsque $x=x_1=0$; faisant alors $x=x_4=10$ dans l'équation ci-dessus, on a pour l'aire comprise entre la courbe, l'axe des abscisses et les données extrêmes $y_1=6$ et $y_4=9$ :

$A=76.190476$ avec beaucoup d'approximation.

### SURFACE CONVEXE ET VOLUME DE SOLIDES DÉFINIS GÉOMÉTRIQUEMENT.

*Pyramide* : Volume = le tiers du produit de la surface de la base par la hauteur.

*Pyramide régulière* : Surface convexe = la moitié du produit du perimètre de la base, par la droite qui joint le sommet au milieu d'un côté de la base.

*Tronc de pyramide* de hauteur $h$, de bases B et $b$ :

$$\text{Volume}=\frac{1}{3}h\,(B+b+\sqrt{B\,b}).$$

*Prisme* : Volume = le produit de la base par la hauteur, ou le produit d'une arête latérale par l'aire d'une section droite.

Surface convexe = le produit d'une arête latérale par le périmètre d'une section droite.

*Tronc de prisme droit* de base B, d'arêtes latérales $h_1, h_2, h_3, \ldots$ en nombre $n$.

$$\text{Volume} = \text{B}\frac{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}{n}.$$

*Cylindre circulaire droit* de hauteur $h$, de rayon de base $r$.

$$\text{Volume} = \pi r^2 h, \text{ surface convexe} = 2\pi r h.$$

*Cône circulaire droit* de hauteur $h$, de rayon de base $r$, de génératrice G :

$$\text{Volume} = \frac{1}{3}\pi r^2 h = 1{,}0472 r^2 h,$$

$$\text{Surface convexe} = \pi r \text{G} = \pi r \sqrt{h^2 + r^2}.$$

*Tronc de cône circulaire droit à bases parallèles de rayons* $r$ et R, de hauteur $h$ :

$$\text{Volume} = \frac{1}{3}\pi h\,(\text{R}^2 + r^2 + \text{R}r) = 1{,}0472\,(\text{R}^2 + r^2 + \text{R}r)\,h.$$

*Surface de révolution* engendrée par un contour polygonal régulier tournant autour d'un diamètre du cercle inscrit : Aire = le produit de la circonférence inscrite, par la projection du contour sur l'axe.

*Solide de révolution* engendré, dans le cas précédent, par le secteur formé en joignant le centre aux deux extrémités du contour : Volume = le tiers du produit du rayon du cercle inscrit, par la surface qu'engendre le contour.

*Théorème de Guldin.* — L'aire engendré par une courbe plane quelconque qui a tourné autour d'un axe situé dans son plan est égale à la longueur développée de la courbe multipliée par le chemin qui a été parcouru par son CENTRE DE GRAVITÉ $= 2\pi r l$, $l$ étant la longueur de l'arc, $r$ la distance du centre de gravité de l'arc à l'axe.

Le *volume* engendré par la révolution d'une figure plane quelconque autour d'un axe situé dans son plan est égal au produit de l'aire de la figure, par le chemin qui a été parcouru par son CENTRE DE GRAVITÉ.

*Sphère* de rayon $r$ ou de diamètre $d$ :

$$\text{Surface} = 4\pi r^2 = \pi d^2 = 12{,}5664\, r^2 = 3{,}14159\, d^2,$$

$$\text{Volume} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 = 4{,}1888\, r^3 = 0{,}52360\, d^3 = \frac{d^3}{1{,}91}.$$

*Diamètre d'une sphère dans laquelle on ne peut pénétrer.* — On obtiendrait le *diamètre* d'une sphère matérielle par la méthode suivante : 1° decrivez sur cette sphère un cercle quelconque, et conservez l'ouverture de compas $a$ qui a servi à le décrire ; 2° marquez trois points quelconques A, B, C sur la circonférence de ce cercle ; 3° avec les trois distances AB, AC, BC, construisez sur le papier un triangle rectiligne auquel vous circonscrirez un cercle dont le rayon $r$ sera ainsi déterminé ; 4° construisez un triangle rectangle dont $a$ soit l'hypoténuse, et $r$ un côté de l'angle droit ; 5° prolongez le troisième côté de ce triangle jusqu'à sa rencontre avec la perpendiculaire menée à l'hypothénuse du sommet opposé ; vous formerez ainsi un plus grand triangle rectangle, dont le premier fera partie, et dont l'hypoténuse sera le diamètre de la sphère.

Ce procédé s'appliquerait à une sphère dont une portion seulement serait visible.

*Zône et segment sphériques à une base*, de hauteur $h$, dans une sphère de rayon $r$ :

$$\text{Surface de la zône} = 2\pi r h;$$

$$\text{Volume du segment} = \frac{1}{3}\pi h^2 (3r - h) = 1{,}0472 h^2 (3r - h).$$

*Zône et tranche sphériques à deux bases*, de hauteur $h$, de rayons de base $r$ et $r'$, dans une sphère de rayon R :

$$\text{Surface de la zône} = 2\pi \mathrm{R} h,$$

$$\text{Volume de la tranche} = \frac{1}{2}\pi (r^2 + r'^2)\, h + \frac{1}{6}\pi h^3,$$

$$= 1{,}570796\, (r^2 + r'^2)\, h + 0{,}523599\, h^3.$$

*Fuseau et coin sphériques* de $n$ degrés, dans une sphère de rayon $r$ :

$$\text{Surface du fuseau} = \frac{\pi r^2 n}{90^\circ}, \text{ volume du coin} = \frac{\pi r^3 n}{270}.$$

*Secteur sphérique.* — Limité par une calotte sphérique de hauteur $h$, dans une sphère de rayon $r$ :

Vol. du secteur = sur. de la calotte $\times \frac{1}{3} r = \frac{2}{3} \pi r^2 h = 2,09439\, r^2 h.$

*Remarques.* — L'aire du cylindre est moyenne proportionnelle entre les aires de la sphère et du cône circonscrit, en comprenant les bases, et l'on a :

cyl. : sph. : cône :: 6 : 4 : 9

L'aire de la sphère = celle du cylindre qui lui est circonscrit, et si l'on comprend les bases du cylindre, l'aire de la sphère est les $\frac{2}{3}$ de l'aire du cylindre.

*Relations entre les éléments de la sphère et ceux des polyèdres réguliers. Le côté du polyèdre étant 1 :*

| NOMBRE et NATURE des faces. | ESPÈCE DU POLYÈDRE. | RAYON de la sphère circonscrite. | RAYON de la sphère inscrite. | SURFACE du polyèdre. | VOLUME du polyèdre. |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 Triangles. | Tétraèdre. . . . . | 0,612372 | 0,204124 | ,732050 | 0,117851 |
| 6 Carrés. | Hexaèdre ou cube. | 0,866025 | 0,500000 | 6,000000 | 1,000000 |
| 8 Triangles. | Octaèdre. . . . . | 0,707107 | 0,408248 | 3,464101 | 0,471405 |
| 12 Partagones. | Dodécaèdre. . . . . | 1,401259 | 1,113516 | 20,645720 | 7,663122 |
| 20 Triangles. | Icosaèdre. . . . . | 0,951056 | 0,755761 | 8,660254 | 2,181692 |

Les *rayons* croissent comme les *côtés* des polyèdres, les *surfaces* croissent comme les *carrés*, et les volumes comme les *cubes* de ces mêmes côtés.

### MESURE DE SOLIDES USUELS NON GÉOMÉTRIQUEMENT DÉFINIS.

*Prisme droit tronqué par une surface quelconque.* — On divise arbitrairement la base en triangles; on prend chacun d'eux pour base d'un prisme tronqué qui aurait pour arêtes les perpendiculaires à la base élevées par les sommets et terminées à la surface; on fait la somme des volumes de ces différents prismes; elle représente approximativement le volume du prisme tronqué donné.

*Volumes à arêtes rectilignes limités par deux bases rectangulaires parallèles (pontons, wagons, bâches, etc.).* — Appelant T et L les dimensions de la grande base, $l$ et $t$ celles de la petite, $h$ la distance verticale des deux bases, on a pour le volume :

$$V = \frac{h}{6}\left[LT + lt + (L+l)(T+t)\right],$$
$$= \frac{h}{3}\left[(L+\frac{1}{2}l)\,T + (l+\frac{1}{2}L)\,t\right],$$

et, approximativement, si L et T diffèrent peu de $l$ et $t$,

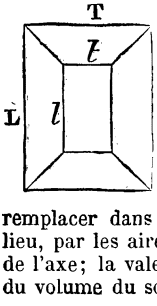
$$V = \frac{h}{2}(LT + lt).$$

Ex., soient : $T = 1^m,50$, $L = 2^m,50$, $t = 0,50$, $l = 1,50$, $h = 0,50$ ; la formule exacte donne :

$$V = \frac{3^{m3},125}{3} = 1^{m3},041.$$

*Solide quelconque.* — Menez, à travers la solide et dans le sens de la plus grande longueur un axe rectiligne quelconque terminé à la surface; divisez cet axe en un nombre $n$ de parties égales entre elles et à $h$; imaginez par chaque point de division une section faite dans le solide perpendiculaire ment à l'axe; évaluez, d'après les méthodes connues, les aires $y_1, y_2, \ldots y_{n-1}$ de chacune de ces sections; appliquez les méthodes (page 85), qui servent à mesurer approximativement une aire plane S dont les ordonnées sont $y_2 \ldots\ldots y_n$ ; ayez soin, d'ailleurs, de remplacer dans les formules $y_0$ et $y^n$ par zéro, ou, s'il y a lieu, par les aires des faces perpendiculaires aux extrémités de l'axe; la valeur trouvée pour S sera la mesure approchée du volume du solide donnée.

Fig. 6.




EXEMPLE : En appliquant la méthode de Simpson on aura :

$$V = \frac{1}{3}h\left\{y_1 + 4y_2 + 2y_3 + \ldots\ldots + y_n\right\}.$$

*Cubage des bois.* — Lorsqu'on met les bois en œuvre, on les équarrit d'abord, c'est-à-dire qu'on leur donne la forme d'un parallélipipède rectangle. On entend par *équarrissage* l'aire du carré que l'on considère comme inscrit dans la circonférence de l'arbre en grume. — Lorsque cet arbre diminue de grosseur, l'équarrissage se prend au milieu de la longueur. — L'équarrissage multiplié par la longueur donne le cube de la base.

L'usage commercial est de prendre pour côté de l'équarris-

sage soit le quart du tour de l'arbre, pris au milieu, soit le quart de ce tour préalablement réduit de $\frac{1}{5}$ ou de $\frac{1}{6}$. Le mesurage est dit selon le cas, fait *au quart*, *au cinquième déduit*, *au sixième déduit*. Les termes d'un marché déterminent le mode de mesurage qui sera adopté pour l'application du prix unitaire du stère.

La comparaison géométrique des résultats est facile. Soit C la longueur d'une circonférence :

Le carré géométriquement inscrit a pour côté

$$\frac{C}{\pi\sqrt{2}} = \frac{C}{4,44} = 0,2251\ C;$$

Le mesurage *au quart* donne pour côté . . . . . $\frac{C}{4} = 0,25\ C;$

Le mesurage *au cinquième déduit* pour côté . . . . . $\frac{C - \frac{1}{5}C}{4} = \frac{C}{5} = 0,20\ C;$

Le mesurage *au sixième déduit* pour côté. . . . . $\frac{C - \frac{1}{6}C}{4} = \frac{C}{4,8} = 0,208\ C.$

*Tonneaux.* — Les formes étant ici très-variables, il n'y a point de formule générale; il n'y en a pas non plus qui soit rigoureuse.

D étant le diamètre intérieur au bouge, c'est-à-dire à la partie la plus renflée, $d$ le diamètre moyen des fonds, $l$ la longueur intérieure du tonneau, et V sa contenance en mètres cubes, on a savoir :

Si le tonneau a une courbure très-prononcée,

$$V = \frac{\pi}{4} l \left\{ d + \frac{2}{3}(D - d) \right\}^2 = 0,0873.\ l\ (d + 2D)^2;$$

ou,

$$V = 0,0865\ l\ (d + 2D)^2.$$

Tonneau moins arqué : $V = \frac{\pi}{4} l \left\{ d + \frac{3}{5}(D - d) \right\};$

— presque cylindrique : $V = \frac{\pi}{4} l \left\{ d + \frac{11}{10}(D - d) \right\}^2.$

Équations dans lesquelles $\frac{\pi}{4} = 0,7854.$

Le tableau suivant renferme les dimensions générales des tonneaux les plus communs :

| NOMS DES PIÈCES. | CONTENANT en litres. | LONGUEUR intérieure | DIAMÈTRE intérieur du bouge | DIAMÈTRE intérieur du fond | ÉPAISSEUR des fonds. | DIMENSIONS moyennes d'une pièce de Bordeaux |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mil. | mil. | mil. | | |
| Demi-hectolitre . . | 50 | 454 | 389 | 345 | 0,011 | $D = 0^m,65$ |
| Hectolitre . . . . . | 100 | 572 | 490 | 435 | | $d = 0,57$ |
| Double hectolitre. | 200 | 720 | 618 | 548 | 0.015 à 0.02 | $l = 0,75$ |
| . . . . . | 300 | 825 | 707 | 628 | | Capacité environ |
| . . . . . | 400 | 908 | 778 | 691 | | 227 |
| Demi-kilolitre . . | 500 | 978 | 838 | 745 | 0.025 à 0.032 | à |
| . . . . . | 600 | 1039 | 891 | 791 | | 230 litres |
| . . . . . | 700 | 1093 | 938 | 833 | | |
| . . . . . | 800 | 1144 | 980 | 871 | | |
| . . . . . | 900 | 1190 | 1019 | 906 | | |
| Kilolitre . . . . . | 1000 | 1232 | 1056 | 93 | | |

Si le tonneau est en vidange et que l'on veuille évaluer le volume du liquide qu'il renferme, on a soin de disposer horizontalement son axe de figure, et de tourner par en haut le trou de bonde; puis on y introduit verticalement une tige, de manière à toucher le fond, et l'on mesure la hauteur de la partie mouillée et celle de la partie non mouillée intérieure, au fût, les deux réunies donnant le diamètre D. Soit $h$ la plus petite des deux hauteurs. On a, approximativement, pour le volume V de la partie (pleine ou vide) qui correspond à la hauteur $h$ :

Cas ordinaires. . . . . $V = \frac{\pi}{4} l (1,5\, h)^2 = 1,767\, l h^2$,

Cas où le niveau du liquide coupe les cercles de base à peu de distance du bord inférieur ou supérieur. . . . . $V = \frac{\pi}{4} l \left(\frac{5}{3} h\right)^2 = 2,18\, l h^2$.

Cas où le niveau ne coupe pas les cercles de base. . . . . $V = \frac{\pi}{4} l \left(\frac{7}{4} h\right)^2 = 2,4\, l h^2$

Le mètre cube vaut 100 litres.

## GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE A DEUX DIMENSIONS.

### FORMULES DE TRANSFORMATION DES COORDONNÉES.

*Cas général :*

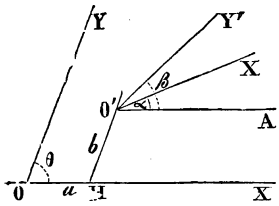
$$x = a + \frac{x' \sin.(\theta - \alpha) + y' \sin.(\theta - \beta)}{\sin.\theta},$$

$$y = b + \frac{x' \sin. \alpha + y' \sin. \beta}{\sin \theta}.$$

*Cas où le système primitif est rectangulaire :*

$$x = a + x' \cos. \alpha + y' \cos. \beta,$$
$$y = b + x' \sin. \alpha + y' \sin. \beta.$$

Fig. 7.




*Cas où le nouveau système est rectangulaire :*

$$x = a + \frac{x' \sin (\theta - \alpha) - y' \cos (\theta - \alpha)}{\sin. \theta},$$

$$y = b + \frac{x' \sin. \alpha + y' \cos. \alpha}{\sin. \theta}.$$

*Cas où les deux systèmes sont rectangulaires :*

$$x = a + x' \cos. \alpha - y' \sin. \alpha,$$
$$y = b + x' \sin. \alpha + y' \cos. \alpha.$$

ÉQUATION DU 1er DEGRÉ. LIGNE DROITE.

*Équation générale :* $Ay - Bx = c$ ou $y = ax + b$.
*Droite parallèle à l'axe des x :* $y = b$.
*Droite parallèle à l'axe des y :* $x = c$.
*Droite passant par l'origine :* $y = ax$

Droite passant par un point donné $(x', y')$, et ayant une direction donnée par son *coefficient angulaire a :*

$$y - y' = a (x - x').$$

Droite passant par les deux points $(x', y')$ et $(x'', y'')$ :

$$y - y' = \frac{y'' - y'}{x'' - x'} (x - x').$$

*Angle* $\alpha$ *de la droite* $y = ax + b$ *avec l'axe des x :*

axes rectangulaires : $\text{Tg.}\, \alpha = a$;

axes quelconques : $\text{Tg.}\, \alpha = \dfrac{a \sin. \theta}{1 + a \cos. \theta}$.

*Coordonnées du point d'intersection des deux droites* $y = ax + b, y = a'x + b'$ :

$$x=\frac{b-b'}{a'-a}, \qquad y=\frac{a'b-ab'}{a'-a}.$$

*Longueur* $\delta$ *d'une droite terminée aux points* $(x', y')$ *et* $(x'', y'')$ :

axes rectangulaires : $\delta=\sqrt{(x'-x'')^2+(y'-y'')^2}$;

axes obliques : $\delta=\sqrt{x'-x'')^2+(y'-y'')^2+2(x'-x'')(y'-y'')\cos\theta}$.

*Angle* V *des* 2 *droites* $y=ax+b, y=a'x+b'$ :

axes rectangulaires : $\text{Tang V}=\frac{a'-a}{1+aa'}$;

axes obliques : $\text{Tang V}=\frac{(a'-a)\sin\theta}{1+aa'+(a+a')\cos\theta}$.

*Droite perpendiculaire à la droite* $y=ax+b$ et passant par le point $(x', y')$ :

axes rectangulaires : $y-y'=-\frac{1}{a}(x-x')$;

axes obliques : $y-y'=\frac{-1-a\cos\theta}{a+\cos\theta}(x-x')$.

*Distance* $p$ *d'un point* $(x'y')$ *à une droite* $y=ax+b$ :

axes rectangulaires : $p=\pm\frac{y'-ax'-b}{\sqrt{1+a^2}}$

axes obliques : $p=\pm\frac{(y-ax'-b)\sin\theta}{\sqrt{1+a^2+2a\cos\theta}}$

LIGNES DU SECOND DEGRÉ.

*Équation générale :*

$$Ax^2+Bxy+Cy^2+Dx+Ey+F=o.$$

*Discussion :*

Notation $M=B^2-4AC$, $N=BE-2CD$, $P=E^2-4CF$.

| | | |
|---|---|---|
| $B^2-4AC<o$ (genre ellipse) | $N^2-MP>o$. | Courbe fermée; ellipse. |
| | $N^2-MP=o$. | Un point. |
| | $N^2-MP<o$. | Rien. |
| $B^2-4AC>o$ (genre hyperbole) | $N^2-MP>o$. | Deux doubles branches infinies; hyperbole. |
| | $N^2-MP<o$. | |
| | $N^2-MP=o$. | Deux droites qui se coupent. |

$$B^2-4AC=o \text{ (genre parabole)} \begin{cases} N>o. \left\{ \begin{array}{l} N>o. \\ N<o. \end{array} \right. & \text{Une double branche infinie; parabole} \\ N=o. \left\{ \begin{array}{l} P>o. \\ P=o. \\ P<o. \end{array} \right. & \begin{array}{l} \text{Deux droites parallèles.} \\ \text{Une droite.} \\ \text{Rien.} \end{array} \end{cases}$$

*Coordonnées du centre, s'il en existe :*

$$2Ax+By+D=o, \qquad Bx+2Cy+E=o;$$

$$x=\frac{2CD-BE}{B^2-4AC}, \qquad y=\frac{2AE-BD}{B^2-4AC}.$$

## PROPRIÉTÉS DES COURBES DU 2e DEGRÉ.

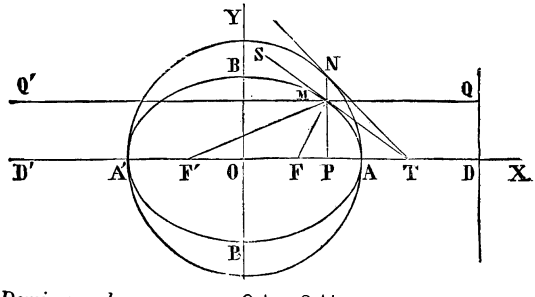
### CERCLE.

Équation de la courbe : $y^2+x^2=R^2$;
*tangente* en un point $x'y'$ sur le cercle : $yy'+xx'=R^2$;
*normale :* $y=\frac{y'}{x'}x.$

### ELLIPSE.

Équation de la courbe : $a^2y^2+b^2x^2=a^2b^2.$

Fig. 8.




*Demi-grand axe :* $a=OA=OA'.$
*Demi-petit axe :* $b=OB=OB'.$

Distance du *centre* au *foyer :* $C=OF=OF'=\sqrt{a^2-b^2}.$

Distance du *centre* à la *directrice :* $d=OD=OD'=\frac{a^2}{c}.$

*Excentricité :* $e=\frac{c}{a}=\sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}}$.

*Ordonnée du foyer :* $p=\frac{b^2}{a}=a(1-e^2)$.

*Équation en coordonnées polaires :* $r=\mathrm{FM}$, $u=\mathrm{MFA}$.

$$r=\frac{p}{1+e\cos u}.$$

Rayons recteurs : $\mathrm{FM}=a-\frac{cx}{a}$, $\mathrm{F'M}=a+\frac{cx}{a}$, $\mathrm{FM}+\mathrm{FM}=2a$.

De là, la construction de l'ellipse par points, ou le tracé du jardinier, quand on connaît les foyers et le grand axe.

Propriétés des directrices : $\frac{\mathrm{FM}}{\mathrm{MQ}}=\frac{\mathrm{F'M}}{\mathrm{MQ'}}=\frac{c}{a}=e$.

*Équation de la tangente :* $\frac{x\mathrm{X}}{a^2}+\frac{y\mathrm{Y}}{b^2}=1$, où X et Y sont les coordonnées courantes de la tangente au point $(x, y)$.

Rencontre T de la tangente avec l'axe OX : $\mathrm{OT}\times\mathrm{OP}=\overline{\mathrm{OA}}^2$.

Les angles de la tangente avec les rayons recteurs donnent l'égalité : $\mathrm{FMT}=\mathrm{F'MS}$.

*Équation de la normale :* $\mathrm{Y}-y=\frac{a^2y}{b^2x}(\mathrm{X}-x)$, où X et Y sont les coordonnées courantes de la droite.

La normale est bissectrice de l'angle FMF'.

*Propriétés du cercle décrit sur le grand axe.* — Rapport des coordonnées : $\frac{\mathrm{MP}}{\mathrm{NP}}=\frac{b}{a}$.

Les tangentes aux points M et N concourent sur le prolongement du grand axe.

*Diamètres.* — On appelle *diamètre de l'ellipse* toute droite passant par le centre et par le milieu de cordes parallèles en nombre quelconque.

Lorsque deux diamètres sont tels que chacun divise en deux parties les cordes parallèles à l'autre, ils sont dits *conjugués*.

Le produit des coefficients angulaires de ces diamètres $=-\frac{b^2}{a^2}$.

On nomme *cordes supplémentaires* des cordes menées d'un point de la courbe aux extrémités d'un même diamètre.

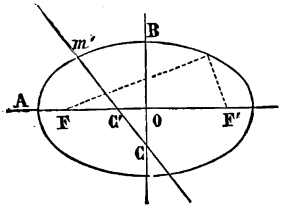
Le produit des coefficients angulaires de ces cordes $= -\frac{b^2}{a^2}$

On a, pour deux diamètres conjugués quelconques, $2a'$ et $2b'$ :

$$a'^2 + b'^2 = a^2 + b^2.$$

Le parallélogramme construit en deux diamètres conjugués est équivalent au rectangle construit sur les axes.

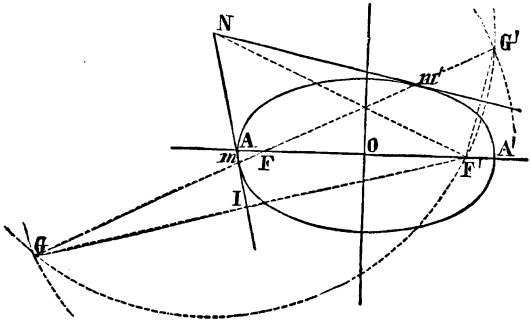
Fig. 9.




*Tracé de l'ellipse.* — Portez sur une règle une longueur $C'm'$ égale au demi petit axe, et ajoutez à son extrémité $C'$ la différence $CC'$ des deux demi-axes donnés : faites mouvoir cette règle, en assujettissant le point $C'$ à rester constamment sur $AO$, et le point $C$ sur $OB'$, le point $m'$ décrira le quart d'ellipse $AB$.

*Autre tracé.* — Fixez aux foyers F et F' un cordeau dont la longueur soit égale au grand axe AA', faites ensuite glisser

Fig. 10.




un style qui tienne ce cordeau toujours tendu; la courbe se trouve tracée quand le style mobile a fait deux demi-révolutions, l'une au-dessus de FF', l'autre au-dessous.

*Tracé d'une tangente à l'ellipse d'un point N hors de cette*

*courbe.* — Décrivez de ce point N et du foyer F, avec des rayons respectivement égaux à AA′ et NF′, des arcs de cercle qui se couperont en des points G et G′; tirez les droites FG, FG′, leurs pointes d'intersection $m, m'$ avec l'ellipse seront les points de tangence cherchés. Les tangentes sont perpendiculaires aux droites F′G, F′G′.

*Perimètre et aire de l'ellipse :*

Périmètre $= \pi (a + b)$, approximativement.

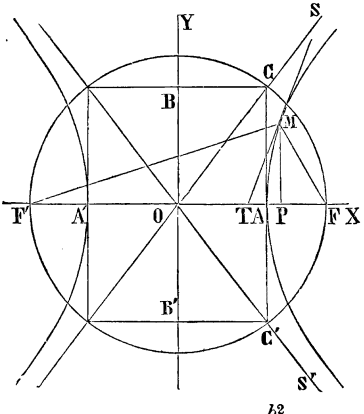
Aire $= \pi a b$, exactement.

Le *volume de l'ellipsoïde* $= \frac{4}{3} \pi b^2 a$ quand il est engendré par la révolution autour de son grand axe ; $= \frac{4}{3} \pi a^2 b$ quand il est engendré par la révolution autour du petit axe.

## HYPERBOLE.

*Équation de la courbe :* $a^2 y^2 - b^2 x^2 = - a^2 b^2$.

Fig. 11.




*Demi-axe transverse :*

$a = OA = OA'$.

*Demi-axe non transverse :*

$b = OB = OB'$.

*Asymptotes* OS et OS′; ce sont les diagonales du rectangle construit sur les axes.

*Foyers* F *et* F′ :

$c = OF = OF' = OC = \sqrt{a^2 + b^2}$.

*Excentricité :*

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}}.$$

*Ordonnée du foyer :* $p = \frac{b^2}{a} = a\,(e^2 - 1)$.

*Équation des coordonnées polaires* $r = FM$, $u = MFA$ :

$$r = \frac{p}{1 + e \cos u}.$$

Les *rayons recteurs* issus des foyers, donnent la relation :

$$F'M - FM = 2a,$$

qui peut servir à construire la courbe par points.

*Directrices*, perpendiculaires à l'axe transverse et situées à la distance $\frac{a^2}{c}$ du centre; elles jouissent des mêmes propriétés que dans le cas de l'ellipse.

*Equation de la tangente :* $\frac{xX}{a^2} - \frac{yY}{b^2} = 1$. Elle est bissectrice de l'angle FMF', et donne : $OT \times OP = \overline{OA}^2$.

Les *diamètres conjugués* et les cordes supplémentaires se définissent comme pour l'ellipse; le produit de leurs coefficients angulaires est égal à $\frac{b}{a^2}$.

De deux diamètres conjugués, l'un est transverse, et l'autre non transverse.

*Hyperbole rapportée à ses asymptotes.*

Équation : $$xy = m^2;$$

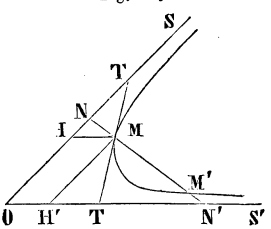
dans laquelle : $$m^2 = \frac{1}{4}(a^2 + b^2)$$

Tangente à la courbe ainsi définie :

$$y - y' = -\frac{y'}{x'}(x - x').$$

L'abcisse du pied de la tangente est $= 2x'$; de là résulte une construction facile de la tangente.

Fig. 12.




On mène par le point M, et l'on termine aux asymptotes, les droites MH et MH' parallèles à ces asymptotes; la tangente TT' et la sécante NMM'N', on a :

$$MH \times MH' = \frac{a^2 + b^2}{4}, \quad MT = MT',$$
$$MN = M'N'.$$

*Tracé d'une tangente à l'hyperbole par un point* N. — Même marche que pour l'ellipse; décrire deux circonférences, l'une du point N comme centre avec

un rayon N F, l'autre du foyer F avec un rayon A A'; les deux points G et G' d'intersection des deux circonférences fournissent chacun une solution. Pour le point G, par exemple, ou même la droite F'G, on abaisse du point N sur F'G la perpendiculaire N I qui est la tangente, et le point $m$ de contact se trouve à l'intersection de la courbe avec la droite F G.

## PARABOLE.

*Equation de la parabole* rapportée à son sommet :

$$y^2 = 2px.$$

$2p$ est le paramètre;

Distance O F du *sommet* au *foyer* $\frac{p}{2}$;

Distance F D du *foyer* à la *directrice* = *ordonnée au foyer* = $p$.

Tout point de la parabole est à égale distance de la directrice et du foyer : F M = M Q.

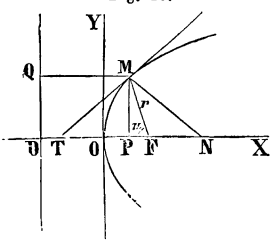
Équation en coordonnées polaires : $r = \frac{p}{1 + \cos u}$.

Équation de la tangente : $y\,Y = p\,(X + x)$.

La sous-tangente T P est double de l'abcisss O P.

La sous-normale P N a la valeur constante $p$.

Fig. 13.




La tangente M T est également inclinée sur l'axe O X et sur le rayon vecteur M F.

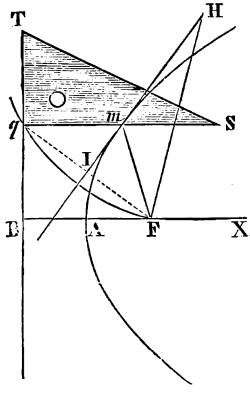
Les tangentes menées à la parabole par un point de la directrice font entre elles un angle droit, et la droite qui unit les points de contact passe au foyer: cette droite est perpendiculaire sur celle qui joint le foyer avec le point de la directrice d'où partent les tangentes.

Le lieu géométrique des milieux des cordes que détermine un système de droites parallèles de coefficient angulaire $a$, constitue un diamètre rectiligne parallèle à l'axe, et situé à la distance $\frac{p}{a}$ de l'axe.

*Tracé.* — On peut tracer graphiquement une parabole au moyen d'une équerre $q\,s$ T, que l'on fait glisser le long de la

directrice R T, et d'un fil F$ms$ égal à $qs$, fixé en $s$ et en F, et toujours tendu par un style mobile en $m$.

Fig. 14.




*Tangente.* — Pour mener une tangente par un point extérieur H, décrivez de ce point un cercle avec H F pour rayon ; il coupera la directrice en $q$ ; menez $qs$ parallèle à AX, et son intersection avec la courbe sera le point de tangence $m$ cherché. La tangente est perpendiculaire à la ligne F$q$.

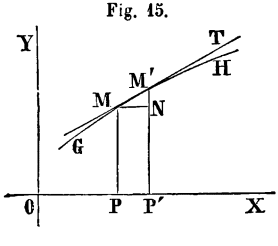
*Aire du segment parabolique.* — La surface d'un segment parabolique compris entre le sommet et une corde perpendicule à l'axe $= \frac{2}{3}$ du parallélogramme conduit sur la corde et sur la partie du grand axe comprise entre le sommet et la corde.

## CALCUL INFINITÉSIMAL.

### CALCUL DIFFÉRENTIEL.

La variable $y$ étant une *fonction continue* de la variable $x$, on donne à $x$ l'accroissement *infiniment petit* $dx$, ce qui fait prendre à $y$ l'accroissement *infiniment petit* $dy$. Ces accroissements $dx$ et $dy$ sont dits les *différentielles* de $x$ et de $y$. On a par définition :

Fig. 15.




*Dérivée* de $y$ par rapport à $x$ $= \frac{dy}{dx}$.

La fonction $y$ étant représentée par F$x$, on représente la dérivée par F'$x$, et l'on pose :

$$y = \mathrm{F}x,\ \frac{dy}{dx} = \mathrm{F}'x,\ dy = \mathrm{F}'x.dx,\ d\mathrm{F}x = \mathrm{F}'x.dx.$$

NOTA. — Les lettres F, F', $d$, qui s'énoncent : *fonction de, fonction prime de, dérivée de, différentielle de*, sont des *caractéristiques* qu'il ne faut pas confondre avec les lettres représentant des grandeurs.

*Recherche graphique de la dérivée.* — On peut toujours déterminer graphiquement $F'x$, quand on a construit, d'une manière continue ou par points, la courbe GH d'équation $y=Fx$. Il suffit, pour cela, de tracer la tangente en un point M quelconque d'abscisse $x$, et de déterminer son coefficient angulaire. Il est précisément égal à $\frac{dy}{dx}$, ou à $F'x$.

Ayant posé $y=Fx$, on a, par définition :

Dérivée du 1er ordre de. . . . . $y=F'x=\frac{dy}{dx}$;

Dérivée du 2e ordre de : $y=$dérivée de $F'x=F''x=\frac{d^2y}{dx^2}$.

DÉRIVÉES ET DIFFÉRENTIELLES DES FONCTIONS LES PLUS SIMPLES.

| FONCTIONS. | DÉRIVÉES. | DIFFÉRENTIELLES. |
|---|---|---|
| $x^m$ | $mx^{m-1}$ | $dx^m=mx^{m-1}dx$ |
| $\log x$ | $\frac{\log e}{x}$ | $d\log x=\frac{dx}{x}\log e$ |
| $lx$ | $\frac{1}{x}$ | $dlx=\frac{dx}{x}$ |
| $a^x$ | $\frac{a^x\log a}{\log e}$ | $da^x=\frac{\log a}{\log e}a^x dx$ |
| $e^x$ | $e^x$ | $de^x=e^x dx$ |
| $\sin x$ | $\cos x$ | $d\sin x=\cos x\,dx$ |
| $\cos x$ | $-\sin x$ | $d\cos x=-\sin x\,dx$ |
| $\operatorname{tg} x$ | $\frac{1}{\cos^2 x}$ | $d\operatorname{tg} x=\frac{dx}{\cos^2 x}$ |
| $\arcsin x$ | $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ | $d\arcsin x=\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$ |
| $\operatorname{arc\,tg} x$ | $\frac{1}{1+x^2}$ | $d\operatorname{arc\,tg} x=\frac{dx}{1+x^2}$ |

*Formules fondamentales de différentiation.* — Si $u$ et $v$ sont des fonctions de $x$, et $c$ une constante, on a :

$$d(u+v)=du+dv,\ d(cu)=c\,du,\ d(uv)=u\,dv+v\,du;$$
$$d(u^m)=m\,u^{m-1}\,du,\ d\left(\frac{u}{v}\right)=\frac{v\,du-u\,dv}{v^2}.$$

*Dérivée d'une fonction de fonction.* — Soit $z=f(y)$. Si $y$ est une fonction de $x$, il s'ensuit que $z$ est également une fonction de $x$; on a :

$$\frac{dz}{dx}=\left(\frac{dz}{dy}\right)\left(\frac{dy}{dx}\right).$$

*Dérivées partielles des fonctions de plusieurs variables.* — Soit une variable $z$ fonction continue de deux autres variables $x$ et $y$, ou $z=F(x, y$, on posera :

Dérivée de $z$ par rapport à $x=\dfrac{dz}{dx}$,

Dérivée de $z$ par rapport à $y=\dfrac{dz}{dy}$,

les numérateurs ne devant jamais être séparés de leurs dénominateurs.

## CALCUL INTÉGRAL

On appelle *intégrale* de la différentielle $fx.dx$, et l'on représente par $\int fx.dx$, toute fonction $Fx$ qui a pour dérivée $fx$. Ainsi, il revient au même d'écrire :

$$\int fx.dx=Fx,\quad \text{ou}\quad fx=F'x.$$

Une même différentielle possède une infinité d'intégrales qui diffèrent entre elles de quantités constantes.

On appelle *intégrale définie* de $fx.dx$, depuis $x_0$ jusqu'à X, et l'on représente par $\int_{x_0}^{X} fx.dx$, l'accroissement fini que prend $Fx$ quand $x$ passe de la valeur $x_0$ à la valeur X. On a donc :

$$\int_{x_0}^{X} fx.dx=F(X)-F(x_0).$$

Cette intégrale définie $\int_{x_0}^{X} fx.dx$ est évidemment la somme des accroissements infiniments petits de $Fx$, ou la somme des valeurs de $F'x.dx$, ou la somme des valeurs de $fx.dx$, pour $x$ croissant d'une manière continue depuis $x_0$ jusqu'à X.

QUELQUES INTÉGRALES USUELLES.

$$\int x^m dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} + C, \text{ avec } m+1 \gtrless o,$$

$$\int \frac{dx}{x} = \log \text{nep}\, x + C,$$

$$\int a^x dx = a^x la + C, \qquad \int e^x dx = e^x + C,$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C, \qquad \int \sin x dx = -\cos x + C.$$

FORMULES FONDAMENTALES POUR L'INTÉGRATION DES FONCTIONS.

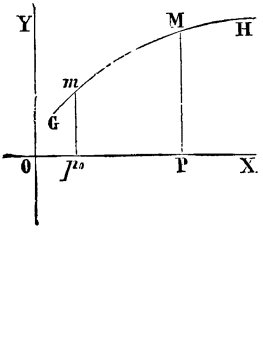
Si $u$ et $v$ sont des fonctions de $x$, et $c$ une constante, on a :

$$\int (u+v) dx = \int u dx + \int v dx, \qquad \int c u dx = c \int u dx,$$

$$\int u dv = uv - \int v du.$$

CONSTRUCTION GRAPHIQUE D'UNE INTÉGRALE DÉFINIE QUELCONQUE.

Fig. 16.




On construit la ligne GH d'équation $y = fx$, en la rapportant à deux axes rectangulaires ; et l'intégrale $\int_{x_0}^{X} fx dx$ est représentée géométriquement par l'aire plane comprise entre la ligne GH, l'axe des $x$, et les deux ordonnées $m_0 p_e$ et MP qui répondent aux abcisses respectives $x_0$ et X.

## APPLICATIONS DU CALCUL INFINITÉSIMAL

### MAXIMA ET MINIMA

*Cas d'une seule variable indépendante.* — La valeur de $x$ qui rend $Fx$ maximum ou minimum s'obtient en résolvant l'équation $F'x=o$, et déterminant quel signe prend $F''x$. Ainsi

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Avec | $F'x=o$ | et $F''x>o$, | on a | $Fx$ minimum; |
| — | $F'x=o$ | $F''x<o$, | | $Fx$ maximum. |

*Cas de deux variables indépendantes.* — Soit $z=F(x, y)$. On obtient les systèmes de valeurs de $x$ et $y$ qui rendent $z$ maximum ou minimum, en résolvant les deux équations à deux inconnues :

$$\frac{dz}{dx}=o, \qquad \frac{dz}{dy}=o.$$

### DÉVELOPPEMENTS EN SÉRIE.

La *formule de Taylor :*

$$F(x+h)=Fx+\frac{h}{1}F'x+\frac{h^2}{1.2}F\,x+\frac{h^3}{1.2.3}F'''x+\text{etc.}$$

fournit le développement en séries d'un grand nombre d'expressions.

*Formule de Maclaurin :*

$$F\,(x)=F(o)+\frac{x}{1}F'(o)+\frac{x^2}{2}F''(o)+\frac{x^3}{1.2.3}F'''(o)+\text{etc.}$$

*Formule de Bernouilli :*

$$\int Fx.dx=C+\frac{x}{1}Fx-\frac{x^2}{1.2}F'x+\frac{x^3}{1.2.3}F''x-\frac{x^4}{1.2.3.4}F'''x+\text{etc.}$$

*Formule du Binôme* pour $-1<x<1$ :

$$(1+x)^m=1+\frac{m}{1}x+\frac{m.(m-1)}{1.2}x^2+\frac{m.(m-1).(m-2)}{1.2.3}x^3+\text{etc.}$$

Les séries suivantes ne sont utiles que pour $x<1$.

$$\frac{1}{1+x}=1-x+x^2-2^3+x^4.\ .\ .\ .\ .$$

$$\frac{1}{1-x}=1+x+x^2+x^3+x^4+\ldots\ldots$$

$$\frac{1}{(1+x)^2}=1-2x+3x^2-4x^3+5x^4\ldots\ldots$$

$$\frac{1}{(1-x)^2}=1+2x+3x^2+4x^3+5x^4+\ldots\ldots$$

$$\sqrt{1+x}=1+\frac{x}{2}-\frac{x^2}{8}+\frac{x^3}{16}-\frac{5x^4}{128}+\ldots\ldots$$

$$\sqrt[3]{1+x}=1+\frac{x}{3}-\frac{x^2}{9}+\frac{5x^3}{81}-\frac{10x^4}{243}+\ldots\ldots$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+x}}=1-\frac{x}{2}+\frac{3}{8}x^2-\frac{5x^3}{16}+\frac{35x^4}{128}\ldots\ldots$$

$$\frac{1}{\sqrt[3]{1+x}}=1-\frac{x}{3}+\frac{2x^2}{9}-\frac{14}{81}x^3+\ldots\ldots$$

$$\log \text{nep}\, x=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}+\text{etc.}$$

Développement des expressions trigonométriques :

$$x=x-\frac{x^3}{1.2.3}+\frac{x^5}{1.2.3.4.5}-\text{etc.}$$

$$\cos x=1-\frac{x^2}{1.2}+\frac{x^4}{1.2.3.4}-\text{etc.}$$

$$x=x+\frac{x^3}{3}+\frac{2x^5}{3.5}+\frac{17x^7}{5.7.9}+\text{etc.}$$

# POIDS ET MESURES

## MESURES FRANÇAISES. — MESURES LÉGALES.

*Loi du* 18 *germinal an III* (7 *avril* 1795) *et du* 4 *juillet* 1837
Et mesures usuelles dérivées des mesures légales.

### MESURES DE LONGUEUR.

| | Mètres. |
|---|---|
| 1 Myriamètre (10 kilomètres) . . . . . | 10000 |
| 1 Kilomètre (10 hectomètres) . . . . | 1000 |
| 1 Hectomètre (10 décamètres). . . . . | 100 |
| 1 Décamètre (10 mètres) . . . . . | 10 |
| MÈTRE, unité fondamentale du système; c'est à peu près le quart de la dix-millionième partie de la circonférence de la terre en passant par les pôles (10 décimètres) . . . . . | 1 |
| 1 Décimètre (10 centimètres) . . . . . | 0,1 |
| 1 Centimètre (10 millimètres) . . . . . | 0,01 |
| 1 Millimètre . . . . . | 0,001 |

### MESURES GÉOGRAPHIQUES USUELLES.

| | Mètres. |
|---|---|
| Mille géographique *de* 15 *au degré de l'équateur*. . . . . | 7420 |
| Lieue marine de 20 au degré = 3 *milles marins* . . . . . | 5556 |
| Mille marin de 60 au degré, ou arc du méridien d'une minute . . . . . | 1852 |
| Brasse marine. . . . . | 1,624 |
| Encablure. . . . . | 200 |

Vitesse de *n nœuds* = vitesse de *n* milles marins à l'heure.

### MESURES DE SURFACES.

| | Mètres carrés. |
|---|---|
| 1 Myriamètre carré (100 kilom. carrés). | 100000000 |
| 1 Kilomètre carré (100 hectom. carr.) | 1000000 |
| 1 Hectomètre carré (100 décam. car.) | 10000 |
| 1 Décamètre carré (100 mètres carrés) | 100 |
| MÈTRE CARRÉ, unité de surface, carré de 1 mètre de côté. (100 décim. carrés). . | 1 |
| 1 Décimètre carré (100 centim. carrés). | 0,01 |
| 1 Centimètre carré (100 millim. carrés) | 0,0001 |
| 1 Millimètre carré. . . . . | 0,000001 |

POUR LES TERRAINS.

| | Mètres carrés. |
|---|---|
| 1 Hectare (100 ares) | 10000 |
| 1 Are (100 centiares) | 100 |
| 1 Centiare (1 mètre carré) | 1 |

MESURES DE VOLUME.

| | Mètres cubes. |
|---|---|
| 1 Décamètre cube (1000 mètres cubes). | 100 |
| MÈTRE CUBE, unité de volume, solide de la forme d'un dé à jouer, ayant 1 mètre de hauteur, 1 mètre de largeur et 1 mètre d'épaisseur (1000 décimètres cubes) | 1 |
| 1 Décimètre cube (1000 centim. cubes). | 0,001 |
| 1 Centimètre cube (1000 millim. cubes). | 1,000001 |
| 1 Millimètre cube | 0,000000001 |

POUR LES BOIS DE CHAUFFAGE.

| | Mètres cubes. |
|---|---|
| 1 Décastère (10 stères) | 10 |
| 1 Stère (10 décistères) | 1 |
| 1 Décistère | 0,1 |

MESURES DE CAPACITÉ.

| | Litres. |
|---|---|
| 1 Hectolitre (10 décalitres) | 100 |
| 1 Décalitre (10 litres) | 10 |
| LITRE, unité de capacité, contenance de 1 décimètre cube | 1 |
| 1 Décilitre (10 centilitres) | 0,1 |
| 1 Centilitre | 0,01 |

MESURES DE POIDS.

| | Grammes. |
|---|---|
| 1 Tonne = 1000 kilogrammes. | |
| 1 Quintal métrique = 100 kilogrammes. | |
| 1 Kilogramme (10 hectogrammes) | 1000 |
| 1 Hectogramme (10 décagrammes) | 100 |
| 1 Décagramme (100 grammes) | 10 |
| GRAMME, unité de poids, poids d'un centimètre cube d'eau distillée à la température de 4 degrés centigrades, déduction faite de la perte de poids causée par l'air qu'il déplace | 1 |
| 1 Décigramme (10 centigrammes) | 0,1 |
| 1 Centigramme (10 milligrammes) | 0,01 |
| 1 Milligramme | 0,001 |

## CALCUL DES INTÉRÊTS.

*Une méthode très-simple* permet de calculer de tête l'intérêt annuel à 5 % d'une somme. Elle consiste à prendre la moitié de cette somme et à retrancher le dernier chiffre à droite. Le reste exprime l'intérêt cherché. Ainsi, soit demandé l'intérêt de 96,000 francs à 5 % : la moitié de ce nombre est 48,000 francs ; en retranchant le dernier 0, on a 4,800 francs, qui est l'intérêt demandé.

Réciproquement, voulant connaître la somme à verser pour avoir 1,400 francs de rente annuelle à 5 %, ajoutez un 0 et doublez, vous aurez le nombre 28,000 francs, qui est la somme demandée.

### INTÉRÊTS SIMPLES, MÉTHODE GÉNÉRALE.

Appelons $a$ la somme placée à intérêt, $n$ le nombre d'années révolues pendant lequel $a$ porte intérêt, $1 + r$, la valeur que *un* francs a acquise au bout d'une année de placement, de sorte que le *taux* de l'intérêt annuel étant, par exemple :

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 5 %, | 6 %, | 7 %..... |
| les valeurs de $r$ sont | 0,05, | 0,06, | 0,07..... |

Soit enfin $i$ l'intérêt *total* de la somme $a$ après $n$ années.

Cela posé, il y a plusieurs cas à considérer :

1° Ou l'on retire, à la fin de chaque année, l'intérêt du capital $a$ et alors on doit toucher à la fin de chaque année.

$$i = a\,r.$$

2° Ou l'on convient de laisser dans les mains de l'emprunteur le capital $a$ pendant $n$ années avec la condition que les intérêts échus à la fin de chacune d'elles *ne s'ajouteront pas* au principal $a$ pour porter intérêt ; on dit alors qu'on place à *intérêt simple* et au bout de $n$ années, on à toucher, en intérêts seulement :

$$i = a\,r\,n,$$

et si l'on retire des mains de l'emprunteur *capital* et *intérêts*, on a à recevoir une somme totale :

$$V = a\,(1 + r\,n).$$

Les intérêts simples à courte échéance se calculent souvent par *jours*.

$$i = a\,r$$

étant l'intérêt à percevoir sur une somme $a$ au bout de *une* année, il est clair que le 365me de cette valeur sera, au même taux annuel, et, année commune, l'intérêt à percevoir par *jour* ; faisant $\frac{i}{365} = j$ on aura donc $nj$ pour l'intérêt de $n$ jours à percevoir ou à payer pour la somme $a$,

$$nj = \frac{nar}{365},$$

et suivant que le taux annuel sera $r = 0{,}03$ ou $0{,}04$, ou $0{,}05$, ou, etc., on aura :

$$nj = \frac{na.3}{36500}; \quad nj = \frac{na \times 4}{36500}; \quad nj = \frac{na \times 5}{36500};$$

ou $$nj = \frac{na}{12167}; \quad nj = \frac{na}{9125}; \quad nj = \frac{na}{7300}.$$

Les dénominateurs de ces dernières fractions sont ce que la table suivante appelle *diviseurs fixes*.

En divisant par ces nombres le produit de la somme prêtée $a$ par la durée du prêt exprimée en jours, on a donc l'intérêt total $nj$ à payer ou à recevoir.

Quant au *nombre de jours écoulés* entre le prêt et le payement de l'intérêt on pourra le tirer, à vue. de l'une des tables qui suit celle des diviseurs fixes.

| TAUX de l'intérêt pour 100 fr. | DIVISEURS fixes par année de 360 jours. | DIVISEURS fixes par année de 365 jours. | TAUX de l'intérêt pour 100 fr. | DIVISEURS fixes par année de 360 jours. | DIVISEURS fixes par année de 365 jours. | TAUX de l'intérêt pour 100 fr. | DIVISEURS fixes par année de 360 jours. | DIVISEURS fixes par année de 365 jours. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 4 | 9 000 | 9 125 | 8 | 4 500 | 4 562 |
| 1/8 | 288 000 | 292 000 | 4 1/8 | 8 727 | 8 848 | 8 1/8 | 4 430 | 4 492 |
| 1/4 | 144 000 | 146 000 | 4 1/4 | 8 470 | 8 538 | 8 1/4 | 4 363 | 4 424 |
| 3/8 | 96 000 | 97 333 | 4 3/8 | 8 228 | 8 343 | 8 3/8 | 4 298 | 4 358 |
| 1/2 | 72 000 | 73 000 | 4 1/2 | 8 000 | 8 111 | 8 1/2 | 4 235 | 4 269 |
| 5/8 | 57 600 | 58 400 | 4 5/8 | 7 784 | 7 892 | 8 5/8 | 4 173 | 4 232 |
| 3/4 | 48 000 | 48 667 | 4 3/4 | 7 578 | 7 684 | 8 3/4 | 4 114 | 4 171 |
| 7/8 | 41 143 | 41 714 | 4 7/8 | 7 384 | 7 487 | 8 7/8 | 4 056 | 4 113 |
| 1 | 36 000 | 36 500 | 5 | 7 200 | 7 300 | 9 | 4 000 | 4 056 |
| 1 1/8 | 32 000 | 32 444 | 5 1/8 | 7 024 | 7 122 | 9 1/8 | 3 945 | 4 000 |
| 1 1/4 | 28 820 | 29 200 | 5 1/4 | 6 857 | 6 952 | 9 1/4 | 3 892 | 3 946 |
| 1 3/8 | 26 182 | 26 545 | 5 3/8 | 6 697 | 6 791 | 9 3/8 | 3 840 | 3 893 |
| 1 1/2 | 24 000 | 24 333 | 5 1/2 | 6 545 | 6 636 | 9 1/2 | 3 789 | 3 842 |
| 1 5/8 | 22 154 | 22 462 | 5 5/8 | 6 400 | 6 489 | 9 5/8 | 3 740 | 3 792 |
| 1 3/4 | 20 571 | 20 857 | 5 3/4 | 6 260 | 6 348 | 9 3/4 | 3 692 | 3 744 |
| 1 7/8 | 19 200 | 19 467 | 5 7/8 | 6 128 | 6 213 | 9 7/8 | 3 645 | 3 696 |
| 2 | 18 000 | 18 250 | 6 | 6 000 | 6 083 | 10 | 3 600 | 3 650 |
| 2 1/8 | 16 941 | 17 176 | 6 1/8 | 5 877 | 5 959 | 10 1/8 | 3 556 | 3 595 |
| 2 1/4 | 16 000 | 16 222 | 6 1/4 | 5 760 | 5 840 | 10 1/4 | 3 512 | 3 561 |
| 2 3/8 | 15 157 | 15 368 | 6 3/8 | 5 647 | 5 725 | 10 3/8 | 3 470 | 3 518 |
| 2 1/2 | 14 400 | 14 600 | 6 1/2 | 5 538 | 5 615 | 10 1/2 | 3 439 | 3 476 |
| 2 5/8 | 13 714 | 13 905 | 6 5/8 | 5 433 | 5 509 | 10 5/8 | 3 388 | 3 435 |
| 2 3/4 | 13 090 | 13 272 | 6 3/4 | 5 333 | 5 407 | 10 3/4 | 3 349 | 3 395 |
| 2 7/8 | 12 522 | 12 696 | 6 7/8 | 5 236 | 5 309 | 10 7/8 | 3 310 | 3 356 |
| 3 | 12 000 | 12 167 | 7 | 5 142 | 5 214 | 11 | 3 273 | 3 309 |
| 3 1/8 | 11 520 | 11 680 | 7 1/8 | 5 053 | 5 123 | 11 1/8 | 3 236 | 3 281 |
| 3 1/4 | 11 077 | 11 231 | 7 1/4 | 4 965 | 5 034 | 11 1/4 | 3 200 | 3 244 |
| 3 3/8 | 10 667 | 10 815 | 7 3/8 | 4 881 | 4 932 | 11 3/8 | 3 165 | 3 209 |
| 3 1/2 | 10 286 | 10 429 | 7 1/2 | 4 800 | 4 867 | 11 1/2 | 3 130 | 3 174 |
| 3 5/8 | 9 931 | 10 069 | 7 5/8 | 4 721 | 4 787 | 11 5/8 | 3 097 | 3 141 |
| 3 3/4 | 9 600 | 9 733 | 7 3/4 | 4 645 | 4 710 | 11 3/4 | 3 064 | 3 106 |
| 3 7/8 | 9 290 | 9 419 | 7 7/8 | 4 571 | 4 635 | 11 7/8 | 3 032 | 3 074 |
| | | | | | | 12 | 3 000 | 3 042 |

Le tableau suivant donne la disposition usuelle du calcul des intérêts dans les *comptes courants.*

| DOIT | | | | | | | AVOIR | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| DATES DES OPÉRATIONS | CAPITAUX RETIRÉS. | BALANCE des capitaux. | OBSERVATIONS. | DATES à partir desquelles se comptent les intérêts. | NOMBRE de jours écoulés depuis le dernier solde jusqu'à la date de la colonne 5. | PRODUITS des sommes des colonnes 2 et 3 par le nombre de la colonne 6 divisés par 100. | DATES DES OPÉRATIONS. | CAPITAUX VERSÉS chez le banquier. | | | DATES à partir desquelles se comptent les intérêts. | NOMBRE de jours écoulés depuis le dernier solde jusqu'à la date de la colonne 5. | PRODUITS des sommes de la colonne 2 par ceux de la colonne 6, divisés par 100. |
| | $a$ | | | | $n$ | $\frac{an}{100}$ | | $b$ | | | | $m$ | $\frac{bm}{100}$ |
| | $a'$ | | | | $n'$ | | | $b'$ | | | | | |
| | $a''$ | | | | $n''$ | | | $b''$ | | | | | |
| | A | C=B−A | | | N | $\frac{CN}{100}$ | | B | | | | | $d$ |
| | H | . . . . . Solde. | | | | | | F | . . . . . Intérêts | | | | E=D−$d$ |
| | M | | | | | D | | G | | | | | D |

A, somme des capitaux retirés $a$; B, somme des capitaux $b$ versés chez le banquier.
C=B−A, balance des capitaux.
Soit F la somme des intérêts des capitaux $a$ diminuée de celle des intérêts des capitaux $b$. Appelons $t$ le taux de l'intérêt pour 100 fr.
Solde. . . . . H=C+F

Calcul des intérêts.

On calcule, comme l'indique le tableau, les nombres D, $d$, et leur différence E.

$$E=D-d=\frac{CN}{100}+\Sigma\frac{an}{100}-\Sigma\frac{bm}{100}=\left(\frac{BN}{100}-\frac{\Sigma bm}{100}\right)-\left(\frac{AN}{100}-\Sigma\frac{an}{100}\right),$$

Or il est visible que :

$$F=\left(\frac{Bt}{100}\frac{N}{360}-\Sigma\frac{bt}{100}\frac{m}{360}\right)-\left(\frac{At}{100}\frac{N}{360}-\Sigma\frac{at}{100}\frac{n}{360}\right),$$

Donc :

$$F=\frac{Et}{360};\ \text{à } 5\ \%\qquad F=\frac{E}{72};\ \text{à } 6\ \%\qquad F=\frac{E}{60}.$$

Vérification : (A+H) ou M=(B+F) ou G; ($d$+E) ou P=D.

**Jours écoulés depuis le 1er janvier et à parcourir jusqu'au 31 décembre, pour les années de 365 jours.**

| QUANTIÈME | JANVIER | | FÉVRIER | | MARS | | AVRIL | | MAI | | JUIN | | JUILLET | | AOUT | | SEPTEMBRE | | OCTOBRE | | NOVEMBRE | | DÉCEMBRE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste | Écoulé | Reste |
| 1 | 1 | 365 | 32 | 334 | 60 | 306 | 91 | 275 | 121 | 245 | 152 | 214 | 182 | 184 | 213 | 153 | 244 | 122 | 274 | 92 | 305 | 61 | 335 | 31 |
| 2 | 2 | 364 | 33 | 333 | 61 | 305 | 92 | 274 | 122 | 244 | 153 | 213 | 183 | 183 | 214 | 152 | 245 | 121 | 275 | 91 | 306 | 60 | 336 | 30 |
| 3 | 3 | 363 | 34 | 332 | 62 | 304 | 93 | 273 | 123 | 243 | 154 | 212 | 184 | 182 | 215 | 151 | 246 | 120 | 276 | 90 | 307 | 59 | 337 | 29 |
| 4 | 4 | 362 | 35 | 331 | 63 | 303 | 94 | 272 | 124 | 242 | 155 | 211 | 185 | 181 | 216 | 150 | 247 | 119 | 277 | 89 | 308 | 58 | 338 | 28 |
| 5 | 5 | 361 | 36 | 330 | 64 | 302 | 95 | 271 | 125 | 241 | 156 | 210 | 186 | 180 | 217 | 149 | 248 | 118 | 278 | 88 | 309 | 57 | 339 | 27 |
| 6 | 6 | 360 | 37 | 329 | 65 | 301 | 96 | 270 | 126 | 240 | 157 | 209 | 187 | 179 | 218 | 148 | 249 | 117 | 279 | 87 | 310 | 56 | 330 | 26 |
| 7 | | 359 | 38 | 328 | 66 | 300 | 97 | 269 | 127 | 239 | 158 | 208 | 188 | 178 | 219 | 147 | 250 | 116 | 280 | 86 | 311 | 55 | 341 | 25 |
| 8 | 8 | 358 | 39 | 327 | 67 | 299 | 98 | 268 | 128 | 238 | 159 | 207 | 189 | 177 | 220 | 146 | 251 | 115 | 281 | 85 | 312 | 54 | 342 | 24 |
| 9 | 9 | 357 | 40 | 326 | 68 | 298 | 99 | 267 | 129 | 237 | 160 | 206 | 190 | 176 | 221 | 145 | 252 | 114 | 282 | 84 | 313 | 53 | 343 | 23 |
| 10 | 10 | 356 | 41 | 325 | 69 | 297 | 100 | 266 | 130 | 236 | 161 | 205 | 191 | 175 | 222 | 144 | 253 | 113 | 283 | 83 | 314 | 52 | 344 | 22 |
| 11 | 11 | 355 | 42 | 324 | 70 | 296 | 101 | 265 | 131 | 235 | 162 | 204 | 192 | 174 | 223 | 143 | 254 | 112 | 284 | 82 | 315 | 51 | 345 | 21 |
| 12 | 12 | 354 | 43 | 323 | 71 | 295 | 102 | 264 | 132 | 234 | 163 | 203 | 193 | 173 | 224 | 142 | 255 | 111 | 285 | 81 | 316 | 50 | 346 | 20 |
| 13 | 13 | 353 | 44 | 322 | 72 | 294 | 103 | 263 | 133 | 233 | 164 | 202 | 194 | 172 | 225 | 141 | 256 | 110 | 286 | 80 | 317 | 49 | 347 | 19 |
| 14 | 14 | 352 | 45 | 321 | 73 | 293 | 104 | 262 | 134 | 232 | 165 | 201 | 195 | 171 | 226 | 140 | 257 | 109 | 287 | 79 | 318 | 48 | 348 | 18 |
| 15 | 15 | 351 | 46 | 320 | 74 | 292 | 105 | 261 | 135 | 231 | 166 | 200 | 196 | 170 | 227 | 139 | 258 | 108 | 288 | 78 | 319 | 47 | 349 | 17 |
| 16 | 16 | 350 | 47 | 319 | 75 | 291 | 106 | 260 | 136 | 230 | 167 | 199 | 197 | 169 | 228 | 138 | 259 | 107 | 289 | 77 | 320 | 46 | 340 | 16 |
| 17 | 17 | 349 | 48 | 318 | 76 | 290 | 107 | 259 | 137 | 229 | 168 | 198 | 198 | 168 | 229 | 137 | 260 | 106 | 290 | 76 | 321 | 45 | 351 | 15 |
| 18 | 18 | 348 | 49 | 317 | 77 | 289 | 108 | 258 | 138 | 228 | 169 | 197 | 199 | 167 | 230 | 136 | 261 | 105 | 291 | 75 | 322 | 44 | 352 | 14 |
| 19 | 19 | 347 | 50 | 316 | 78 | 288 | 109 | 257 | 139 | 227 | 170 | 196 | 200 | 166 | 231 | 135 | 262 | 104 | 292 | 74 | 323 | 43 | 353 | 13 |
| 20 | 20 | 346 | 51 | 315 | 79 | 287 | 110 | 256 | 140 | 226 | 171 | 195 | 201 | 165 | 232 | 134 | 263 | 103 | 293 | 73 | 324 | 42 | 354 | 12 |
| 21 | 21 | 345 | 52 | 314 | 80 | 286 | 111 | 255 | 141 | 225 | 172 | 194 | 202 | 164 | 233 | 133 | 264 | 102 | 294 | 72 | 325 | 41 | 355 | 11 |
| 22 | 22 | 344 | 53 | 313 | 81 | 285 | 112 | 254 | 142 | 224 | 173 | 193 | 203 | 163 | 234 | 132 | 265 | 101 | 295 | 71 | 326 | 40 | 356 | 10 |
| 23 | 23 | 343 | 54 | 312 | 82 | 284 | 113 | 253 | 143 | 223 | 174 | 192 | 204 | 162 | 235 | 131 | 266 | 100 | 296 | 70 | 327 | 39 | 357 | 9 |
| 24 | 24 | 342 | 55 | 311 | 83 | 283 | 114 | 252 | 144 | 222 | 175 | 191 | 205 | 161 | 236 | 130 | 267 | 99 | 297 | 69 | 328 | 38 | 358 | 8 |
| 25 | 25 | 341 | 56 | 310 | 84 | 282 | 115 | 251 | 145 | 221 | 176 | 190 | 206 | 160 | 237 | 129 | 268 | 98 | 298 | 68 | 329 | 37 | 359 | 7 |
| 26 | 26 | 340 | 57 | 309 | 85 | 281 | 116 | 250 | 146 | 220 | 177 | 189 | 207 | 159 | 238 | 128 | 269 | 97 | 299 | 67 | 330 | 36 | 350 | 6 |
| 27 | 27 | 339 | 58 | 308 | 86 | 280 | 117 | 249 | 147 | 219 | 178 | 188 | 208 | 158 | 239 | 127 | 270 | 96 | 300 | 66 | 331 | 35 | 361 | 5 |
| 28 | 28 | 338 | 59 | 307 | 87 | 279 | 118 | 248 | 148 | 218 | 179 | 187 | 209 | 157 | 240 | 126 | 271 | 95 | 301 | 65 | 332 | 34 | 362 | 4 |
| 29 | 29 | 337 | 0 | 0 | 88 | 278 | 119 | 247 | 149 | 217 | 180 | 186 | 210 | 156 | 241 | 125 | 272 | 94 | 302 | 64 | 333 | 33 | 363 | 3 |
| 30 | 30 | 336 | 0 | 0 | 89 | 277 | 120 | 246 | 150 | 216 | 181 | 185 | 211 | 155 | 242 | 124 | 273 | 93 | 303 | 63 | 334 | 32 | 364 | 2 |
| 31 | 31 | 335 | 0 | 0 | 90 | 276 | 0 | 0 | 151 | 215 | 0 | 0 | 212 | 154 | 243 | 123 | 0 | 0 | 304 | 62 | 0 | 0 | 365 | 1 |

### INTÉRÊTS COMPOSÉS.

On peut convenir que les intérêts que le prêteur ne touche pas à la fin de chaque année *s'ajouteront au principal* et porteront intérêts de même que ce principal. On dit alors que l'intérêt est *composé* et la valeur S que le principal $a$ a acquise, au bout de $n$ années, est donnée par la relation :

$$S = a\,(1 + r)^n.$$

Ainsi, l'intérêt étant à 5 % : $(1 + r)^n = (1{,}05)^n$. Ces valeurs de $(1{,}05)^n$ sont inscrites à la *deuxième* colonne de la table (p. 137) pour les nombres d'années *révolues* indiqués dans la première colonne.

On y voit, par exemple, qu'une somme $a = 10000$ francs acquérait en $n = 30$ années une valeur $S = 43219$ francs par l'accumulation des intérêts composés, le taux de l'intérêt étant 5 % l'an ; et réciproquement pour que cette somme $a = 10000$ francs eût *doublé*, elle devrait rester placée pendant un peu plus de 14 ans (14 années, 2067 exactement).

La formule précédente mise sous la forme

$$a = \frac{S}{(1+r)^n}$$

donne la solution de la question inverse : *Quelle somme a faut-il placer aujourd'hui, à intérêts composés, pour avoir droit à une somme S au bout de* n *années.* Par exemple, S étant 1000 et $r = 0{,}05$, on aurait :

$$a = \frac{1000}{(1{,}05)^n}.$$

Ce sont ces dernières valeurs de $a$ qui sont inscrites à la *quatrième* colonne de la table (p. 137), et qui peuvent encore être considérées comme les *valeurs actuelles d'un capital de 1000 francs, qui n'est réalisable qu'après* n *années révolues.*

**Tableau pour le calcul des intérêts composés.**

$r$ = intérêt annuel de 1 franc.

| $1 + r$ | LOGARITHMES. | $1 + r$ | LOGARITHMES. |
|---|---|---|---|
| 1,030 | 012 837 225 | 1,050 | 021 189 299 |
| 1,035 | 014 940 350 | 1,055 | 023 252 460 |
| 1,040 | 017 033 339 | 1,060 | 025 305 865 |
| 1,045 | 019 116 290 | 1,065 | 027 349 604 |

*Valeur à la fin de* n *années de 1 franc placé à intérêts composés* $= (1+r)^n$.

| ANNÉES $n$ | Taux de l'intérêt pour 100 francs. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **1** | 1,030 000 | 1,040 000 | 1,050 000 | 1,060 000 |
| 2 | 060 900 | 081 600 | 102 500 | 123 600 |
| 3 | 092 727 | 124 864 | 157 625 | 191 016 |
| 4 | 125 509 | 169 859 | 215 506 | 262 477 |
| **5** | 1,159 274 | 1,216 653 | 1,276 282 | 1,338 226 |
| 6 | 194 052 | 265 319 | 340 096 | 418 519 |
| 7 | 229 874 | 315 932 | 407 100 | 503 630 |
| 8 | 265 770 | 368 569 | 477 455 | 593 848 |
| 9 | 304 773 | 423 312 | 551 328 | 689 479 |
| **10** | 1,343 916 | 1,480 244 | 1,628 895 | 1,790 848 |
| 11 | 384 234 | 539 454 | 710 339 | 898 299 |
| 12 | 425 761 | 601 032 | 795 855 | 2,012 196 |
| 03 | 428 534 | 665 074 | 885 649 | 132 928 |
| 14 | 512 590 | 731 676 | 979 932 | 260 904 |
| **15** | 1,557 967 | 1,800 944 | 2,073 928 | 2,396 558 |
| 16 | 604 706 | 872 981 | 182 875 | 540 352 |
| 17 | 652 848 | 947 900 | 292 018 | 692 773 |
| 18 | 702 433 | 2,025 817 | 406 619 | 854 339 |
| 19 | 753 506 | 106 849 | 526 950 | 3,025 600 |
| **20** | 1,806 111 | 2,191 123 | 2,653 298 | 3,207 135 |
| 21 | 860 295 | 278 768 | 785 963 | 399 564 |
| 22 | 916 103 | 369 919 | 925 261 | 603 537 |
| 23 | 973 587 | 464 716 | 3,071 524 | 819 750 |
| 24 | 2,032 794 | 563 304 | 225 100 | 4,048 935 |
| **25** | 2,093 778 | 2,665 836 | 3,386 355 | 4,291 871 |
| 26 | 156 591 | 772 470 | 555 673 | 549 383 |
| 27 | 221 289 | 883 369 | 733 456 | 822 346 |
| 28 | 287 928 | 998 703 | 920 129 | 5,111 687 |
| 29 | 356 566 | 3,118 651 | 4,116 136 | 418 388 |
| **30** | 2,427 262 | 3,243 398 | 4,321 942 | 5,743 491 |
| 31 | 500 080 | 273 133 | 538 039 | 6,088 101 |
| 32 | 575 083 | 508 059 | 764 941 | 453 387 |
| 33 | 652 335 | 648 381 | 5,003 189 | 840 590 |
| 34 | 731 905 | 794 316 | 5,253 348 | 7,251 025 |

La *valeur actuelle* d'une somme de 1 fr., payable dans $n$ années, en tenant compte de la composition des intérêts est :

$$\frac{1}{(1+r)^n}.$$

On la calculera à l'aide de la table des réciproques, p. 39.

ANNUITÉS.

*Somme produite à intérêts composés, au bout de* n *années, par une annuité de 1 franc.*

A, L'annuité étant payée au commencement de chaque année :

$$A = \frac{1+r}{r}[(1+r)^n - 1].$$

B, L'annuité étant payée à la fin de chaque année :

$$B = \frac{1}{r}[(1+r)^n - 1]; \quad A = B(1+r).$$

*b*, Annuité à payer à la fin de chaque année pour produire, au bout de *n* années, un capital de 1 franc,

$$b = \frac{1}{B} = \frac{r}{(1+r)^n - 1}.$$

Les tables des pages 135 et 136 font connaître les valeurs de A, B, *b*, d'après celles de *n* et *r*.

La *valeur actuelle* des sommes A ou B est :

$$\frac{A}{(1+r)^n} \quad \text{ou} \quad \frac{B}{1+r)^n}.$$

On l'obtiendra au moyen des tableaux (p. 133 et 137).

*Application.* — On emprunte aujourd'hui une somme C; à la fin de chaque année on rend au prêteur une autre somme *constante a* plus grande que l'intérêt de C, il arrivera dès lors nécessairement que, après un certain nombre *n* d'années révolues, on se sera complétement acquitté.

En désignant par *r* l'intérêt annuel de 1 franc, et par $B_a$ la somme produite par *n* versements annuels égaux à *a*, faits en fin d'année, on a la relation :

$$C(1+r)^n = B_a = \frac{a}{r}[(1+r)^n - 1].$$

C est la *valeur actuelle* de $B_a$ ou la *valeur actuelle d'une rente annuelle* a *payable pendant* n *années*.

La table des pages 137 et 138 répondra à toutes les questions pour le taux de 5 %.

| Années $n$ | Taux de l'intérêt pour 100 francs. 3 | | | 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | $b$ | A | B | $b$ |
| 1 | 1,030 00 | 1,000 00 | 1,000 000 | 1,040 00 | 1,000 00 | 1,000 000 |
| 2 | 2,090 90 | 2,030 00 | 0,492 611 | 2,121 60 | 2,040 00 | 0,490 196 |
| 3 | 3,183 63 | 3,090 90 | 323 530 | 3,246 46 | 3,121 60 | 320 349 |
| 4 | 4,309 14 | 4,183 63 | 239 027 | 4,416 32 | 4,246 46 | 235 489 |
| 5 | 5,468 41 | 5,309 14 | 188 355 | 5,632 97 | 5,416 32 | 184 627 |
| 6 | 6,662 46 | 6,468 41 | 154 598 | 6,898 29 | 6,632 97 | 150 762 |
| 7 | 7,892 33 | 7,662 46 | 130 506 | 8,214 23 | 7,898 29 | 126 610 |
| 8 | 9,159 10 | 8,892 33 | 112 456 | 9,582 79 | 9,214 23 | 108 528 |
| 9 | 10,463 87 | 10,159 10 | 008 434 | 11,006 11 | 10,582 79 | 094 493 |
| 10 | 11,807 79 | 11,463 87 | 087 231 | 12,486 35 | 12,006 11 | 083 291 |
| 11 | 13,192 02 | 12,807 79 | 078 077 | 14,025 81 | 13,486 35 | 074 149 |
| 12 | 14,617 78 | 14,192 02 | 070 462 | 15,626 84 | 15,025 80 | 066 552 |
| 13 | 16,086 31 | 15,617 78 | 064 030 | 17,291 91 | 16,626 84 | 060 144 |
| 14 | 17,598 90 | 17,086 31 | 058 526 | 19,023 59 | 18,291 91 | 054 669 |
| 15 | 19,156 87 | 18,598 90 | 053 767 | 20,824 53 | 20,023 59 | 049 942 |
| 16 | 20,761 58 | 20,156 87 | 049 611 | 22,697 61 | 21,824 53 | 045 820 |
| 17 | 22,414 43 | 21,761 58 | 045 953 | 24,645 41 | 23,697 51 | 042 199 |
| 18 | 24,116 86 | 23,414 43 | 042 709 | 26,671 23 | 25,645 41 | 038 993 |
| 19 | 25,870 37 | 25,116 86 | 039 814 | 28,778 08 | 27,671 23 | 036 139 |
| 20 | 27,675 48 | 26,870 37 | 037 216 | 30,969 20 | 29,778 08 | 033 582 |
| 21 | 29,676 48 | 28,675 48 | 034 872 | 33,247 70 | 31,969 20 | 031 280 |
| 22 | 31,536 77 | 30,676 48 | 032 747 | 35,617 89 | 34,247 97 | 029 199 |
| 23 | 33,426 46 | 32,536 77 | 030 814 | 38,082 60 | 36,617 89 | 027 309 |
| 24 | 35,459 25 | 34,426 46 | 029 047 | 40,645 91 | 39,082 60 | 025 587 |
| 25 | 37,553 03 | 36,459 25 | 027 428 | 43,311 74 | 41,645 91 | 024 012 |
| 26 | 39,709 62 | 38,553 03 | 025 938 | 46,084 21 | 44,311 74 | 022 567 |
| 27 | 42,930 91 | 40,709 62 | 024 564 | 48,967 58 | 47,084 21 | 021 239 |
| 28 | 44,218 84 | 43,930 91 | 023 293 | 51,966 29 | 49,967 58 | 020 013 |
| 29 | 46,575 41 | 45,218 84 | 022 115 | 55,084 94 | 52,966 29 | 018 880 |
| 30 | 49,093 67 | 47,775 41 | 021 019 | 58,328 33 | 56,084 94 | 017 830 |
| 31 | 51,502 75 | 50,093 67 | 019 999 | 61,701 47 | 59,328 33 | 016 855 |
| 32 | 54,077 83 | 52,502 75 | 019 047 | 65,209 53 | 62,701 47 | 015 949 |
| 33 | 56,730 17 | 55,077 83 | 018 156 | 68,857 91 | 66,209 53 | 015 103 |
| 34 | 59,462 08 | 57,730 17 | 017 322 | 72,652 22 | 69,857 91 | 014 315 |
| 35 | 63,275 94 | 60,462 08 | 016 539 | 76,598 31 | 73,652 22 | 013 577 |
| 36 | 65,174 22 | 64,275 94 | 015 804 | 80,703 24 | 77,598 31 | 012 887 |
| 37 | 68,159 45 | 66,174 22 | 015 112 | 84,971 37 | 81,703 24 | 012 240 |
| 38 | 71,234 23 | 69,159 45 | 014 459 | 89,410 22 | 85,971 37 | 011 632 |
| 39 | 74,401 23 | 72,234 23 | 013 844 | 94,026 63 | 90,410 22 | 011 061 |
| 40 | 77,663 27 | 75,401 23 | 013 262 | 98,827 69 | 95,026 63 | 010 523 |
| 41 | 81,023 17 | 78,663 27 | 012 712 | 103,820 80 | 99,827 69 | 010 017 |
| 42 | 84,483 87 | 82,023 17 | 012 192 | 109,013 63 | 104,820 80 | 009 540 |
| 43 | 88,048 39 | 85,483 87 | 011 698 | 114,414 17 | 110,013 63 | 009 090 |
| 44 | 91,719 84 | 89,048 39 | 011 230 | 120,030 74 | 115,414 17 | 008 665 |
| 45 | 95,501 44 | 92,719 84 | 010 785 | 125,871 97 | 121,030 74 | 008 263 |
| 46 | 99,396 48 | 96,501 44 | 010 363 | 131,946 85 | 126,871 97 | 007 882 |
| 47 | 103,408 38 | 100,396 48 | 009 961 | 138,264 72 | 132,946 85 | 007 522 |
| 48 | 107,540 63 | 104,408 38 | 009 578 | 144,835 31 | 139,264 72 | 007 181 |
| 49 | 111,796 85 | 108,540 63 | 009 213 | 151,668 72 | 145,835 31 | 006 858 |
| 50 | 116,180 76 | 112,796 85 | 008 866 | 158,775 47 | 152,668 72 | 06 550 |

| Années | Taux de l'intérêt pour 100 francs. 4 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | | | 6 | | |
| $n$ | A | B | $b$ | A | B | $b$ |
| **1** | 1,050 00 | 1,000 00 | 1,000 000 | 1,060 00 | 1,000 00 | 1,000 000 |
| 2 | 2,152 50 | 2,050 00 | 0,487 805 | 2,183 60 | 2,060 00 | 0,485 437 |
| 3 | 3,310 12 | 3,152 50 | 317 209 | 3,374 62 | 3,183 60 | 314 110 |
| 4 | 4,525 63 | 4,310 12 | 232 012 | 4,637 10 | 4,374 62 | 228 591 |
| **5** | 5,801 91 | 5,525 63 | 180 975 | 5,975 33 | 5,637 10 | 177 397 |
| 6 | 7,142 01 | 6,801 91 | 147 017 | 7,393 85 | 6,975 33 | 143 363 |
| 7 | 8,549 11 | 8,142 01 | 122 820 | 8,897 48 | 8,393 85 | 119 135 |
| 8 | 10,026 56 | 9,549 11 | 104 722 | 10,491 33 | 9,897 48 | 101 036 |
| 9 | 11,577 89 | 11,026 56 | 090 690 | 12,180 81 | 11,491 33 | 087 022 |
| **10** | 13,206 79 | 12,577 89 | 079 504 | 13,971 66 | 13,180 81 | 075 868 |
| 11 | 14,917 13 | 14,206 79 | 070 389 | 15,869 96 | 14,971 66 | 066 793 |
| 12 | 16,712 98 | 15,917 13 | 062 825 | 17,882 16 | 16,869 96 | 059 277 |
| 13 | 18,598 63 | 17,712 98 | 056 456 | 20,015 09 | 18,882 16 | 052 960 |
| 14 | 20,578 56 | 19,598 63 | 051 024 | 22,275 99 | 21,015 09 | 047 585 |
| **15** | 22,657 49 | 21,578 56 | 046 342 | 24,672 55 | 23,275 99 | 042 963 |
| 16 | 24,840 37 | 23,657 49 | 042 270 | 27,212 90 | 25,672 55 | 038 952 |
| 17 | 27,132 38 | 25,840 37 | 038 699 | 29,905 67 | 28,212 90 | 035 445 |
| 18 | 29,539 00 | 28,132 38 | 035 546 | 32,760 01 | 30,905 67 | 032 357 |
| 19 | 32,065 95 | 30,539 00 | 032 745 | 35,785 61 | 33,760 01 | 029 621 |
| **20** | 34,719 25 | 33,065 95 | 030 243 | 38,992 75 | 36,785 61 | 027 185 |
| 21 | 37,505 21 | 35,719 25 | 027 996 | 42,392 31 | 39,992 75 | 025 005 |
| 22 | 40,430 47 | 38,505 21 | 025 971 | 45,995 85 | 43,392 31 | 023 046 |
| 23 | 43,502 00 | 41,430 47 | 024 137 | 49,815 60 | 46,995 85 | 021 278 |
| 24 | 46,727 10 | 44,502 00 | 022 471 | 53,864 53 | 50,815 60 | 019 679 |
| **25** | 50,113 45 | 47,727 10 | 020 952 | 58,156 40 | 54,864 53 | 018 227 |
| 26 | 53,669 13 | 51,113 45 | 019 564 | 62,705 78 | 59,156 40 | 016 904 |
| 27 | 57,402 58 | 54,669 13 | 018 292 | 67,528 13 | 63,705 78 | 015 697 |
| 28 | 61,322 71 | 58,402 58 | 017 123 | 72,639 82 | 68,528 13 | 014 593 |
| 29 | 65,438 85 | 62,322 71 | 016 046 | 78,058 21 | 73,639 82 | 013 580 |
| **30** | 69,760 79 | 66,438 85 | 015 051 | 83,801 70 | 79,058 21 | 012 649 |
| 31 | 74,298 83 | 70,760 79 | 014 132 | 89,889 80 | 84,801 70 | 011 792 |
| 32 | 79,063 77 | 75,298 83 | 013 280 | 96,343 19 | 90,889 80 | 011 002 |
| 33 | 84,066 96 | 80,063 77 | 012 490 | 103,183 78 | 97,343 19 | 010 273 |
| 34 | 89,320 31 | 85,066 96 | 011 755 | 110,434 81 | 104,183 78 | 009 598 |
| **35** | 94,836 32 | 90,320 31 | 011 072 | 118,120 90 | 111,434 81 | 008 974 |
| 36 | 100,628 14 | 95,836 32 | 010 434 | 126,268 15 | 119,120 90 | 008 395 |
| 37 | 106,709 55 | 101,628 14 | 009 840 | 134,904 24 | 127 268 15 | 007 857 |
| 38 | 113,095 03 | 107,709 55 | 009 284 | 144,058 29 | 135,904 24 | 007 358 |
| | 119,799 78 | 114,095 03 | 008 765 | 153,761 99 | 145,058 49 | 006 894 |
| **40** | 126,839 77 | 120,799 78 | 008 278 | 164,047 71 | 154,761 99 | 006 462 |
| 41 | 134,231 76 | 127,839 77 | 007 822 | 174,950 57 | 165,047 71 | 006 059 |
| 42 | 141,993 35 | 135,231 76 | 007 395 | 186,507 60 | 175,950 57 | 005 683 |
| 43 | 150,143 02 | 142,993 35 | 006 993 | 198,764 07 | 187,507 60 | 005 333 |
| 44 | 158,700 17 | 151,143 02 | 006 616 | 211,749 91 | 199 764 07 | 005 006 |
| **45** | 167,685 18 | 159,700 17 | 006 262 | 225,514 90 | 212,749 91 | 004 701 |
| 46 | 177,119 44 | 168,685 18 | 005 928 | 240,105 79 | 226,514 90 | 004 415 |
| 47 | 187,025 21 | 178,119 44 | 005 614 | 255,572 14 | 241,105 79 | 004 148 |
| 48 | 197,426 47 | 188,025 21 | 005 318 | 271,966 47 | 256,572 14 | 003 898 |
| 49 | 208,348 79 | 198,426 47 | 005 040 | 289,343 14 | 272,966 47 | 003 664 |
| **50** | 219,816 23 | 209,348 79 | 004 777 | 307,763 73 | 290,343 14 | 003 444 |

| NOMBRE d'années. ($n$) | VALEURS successives de 1 fr. plus ses intérêts composés au taux de 5 pour 100 $\left((1.05)^n\right)$ | RENTE annuelle nécessaire pour l'amortissement d'un capital de 100 fr. dans un nombre donné d'années $\left(\frac{5}{(1.05)^n-1}\right)$ | VALEURS actuelles d'un capital de 1000 f. qui n'est réalisable que dans un nombre donné d'années. $\left(\frac{1.000}{(1.05)^n}\right)$ | VALEURS actuelles totales d'une rente annuelle de 1000 f. payable pendant un certain nombre d'années. |
|---|---|---|---|---|
| | fr. c. | fr. c. | fr. c. | fr. c. |
| **1** | 1 05 00 | 100 00 00 | 952 38 10 | 952 38 10 |
| 2 | 1 10 25 | 48 78 05 | 907 02 95 | 1,859 41 05 |
| 3 | 1 15 76 | 31 72 09 | 863 83 38 | 2,723 24 43 |
| 4 | 1 21 55 | 23 20 12 | 822 70 25 | 3,545 94 68 |
| **5** | 1 27 63 | 18 09 75 | 783 52 62 | 4,329 47 30 |
| 6 | 1 34 01 | 14 70 17 | 746 21 54 | 5,075 68 84 |
| 7 | 1 40 71 | 12 28 20 | 710 68 13 | 5,786 36 97 |
| 8 | 1 47 75 | 10 47 22 | 676 83 94 | 6,463 20 91 |
| 9 | 1 55 13 | 9 06 90 | 644 60 89 | 7,107 81 80 |
| **10** | 1 62 89 | 7 95 05 | 613 91 33 | 7,721 73 13 |
| 11 | 1 71 03 | 7 03 89 | 584 67 93 | 8,306 41 06 |
| 12 | 1 79 59 | 6 28 25 | 556 83 74 | 8,863 24 80 |
| 13 | 1 88 57 | 5 64 56 | 530 32 14 | 9,393 56 94 |
| 14 | 1 97 99 | 5 10 24 | 505 06 80 | 9,898 66 74 |
| **15** | 2 07 89 | 4 63 42 | 481 01 71 | 10,379 65 45 |
| 16 | 2 18 29 | 4 22 70 | 458 11 15 | 10,837 76 60 |
| 17 | 2 29 20 | 3 86 99 | 436 29 67 | 11,274 06 27 |
| 18 | 2 40 66 | 3 55 46 | 415 52 07 | 11,689 58 34 |
| 19 | 2 52 70 | 3 27 45 | 395 73 40 | 12,085 31 74 |
| **20** | 2 65 33 | 3 02 43 | 376 88 95 | 12,462 20 60 |
| 21 | 2 78 60 | 2 79 96 | 358 94 24 | 12,821 14 93 |
| 22 | 2 92 53 | 2 59 71 | 341 85 00 | 13,162 99 93 |
| 23 | 3 07 15 | 2 41 37 | 325 57 13 | 13,488 57 06 |
| 24 | 3 22 51 | 2 24 71 | 310 06 79 | 13,798 63 85 |
| **25** | 3 38 64 | 2 09 52 | 295 30 28 | 14.093 94 13 |
| 26 | 3 55 57 | 1 95 64 | 281 24 07 | 14,375 18 20 |
| 27 | 3 73 35 | 1 82 92 | 267 84 83 | 14,643 08 03 |
| 28 | 3 92 01 | 1 71 23 | 255 09 36 | 14,898 12 39 |
| 29 | 4 11 61 | 1 60 46 | 242 94 63 | 15,141 07 02 |
| **30** | 4 32 19 | 1 50 51 | 231 37 75 | 15,372 44 77 |
| 31 | 4 53 80 | 1 41 32 | 220 35 95 | 15,592 80 72 |
| 32 | 4 76 40 | 1 32 80 | 209 86 62 | 15,802 67 34 |
| 33 | 5 00 32 | 1 24 90 | 199 87 25 | 16,002 54 59 |
| 34 | 5 25 34 | 1 17 55 | 190 35 48 | 16,192 90 07 |
| **35** | 5 51 60 | 1 10 72 | 181 29 03 | 16,374 19 10 |
| 36 | 5 79 18 | 1 04 34 | 172 65 74 | 16,546 84 84 |
| 37 | 6 08 14 | 0 98 40 | 164 43 56 | 16,711 28 40 |
| 38 | 6 38 55 | 0 92 84 | 156 60 54 | 16,867 88 94 |
| 39 | 6 70 48 | 0 87 65 | 149 14 80 | 17,017 03 74 |
| **40** | 7 04 00 | 0 82 78 | 142 04 57 | 17,159 08 31 |
| 41 | 7 39 20 | 0 78 22 | 135 28 16 | 17,294 36 17 |
| 42 | 7 76 16 | 0 73 95 | 128 83 96 | 17,428 20 43 |
| 43 | 8 14 97 | 0 69 93 | 122 70 44 | 17,545 90 87 |
| 44 | 8 55 72 | 0 66 16 | 116 86 13 | 17,662 77 00 |
| **45** | 8 98 50 | 0 62 62 | 111 29 65 | 17,774 66 65 |
| 46 | 9 43 43 | 0 59 28 | 105 99 67 | 17,880 06 32 |
| 47 | 9 90 60 | 0 56 14 | 100 94 92 | 17,981 01 24 |
| 48 | 10 40 13 | 0 53 18 | 96 14 21 | 18,077 15 45 |
| 49 | 10 92 13 | 0 50 40 | 91 56 39 | 18,168 71 84 |

| NOMBRE d'années. ($n$) | VALEURS successives de 1 fr. plus ses intérêts composés au taux de 5 pour 100. $\left((1.05)^n\right)$ | RENTE annuelle nécessaire pour l'amortissement d'un capital de 100 fr. dans un nombre donné d'années $\left(\frac{5}{(1.05)^n-1}\right)$ | VALEURS actuelles d'un capital de 1000 f. qui n'est réalisable que dans un nombre donné d'années $\left(\frac{1.000}{(1.05)^n}\right)$ | VALEURS actuelles totales d'une rente annuelle de 1000 f. payable pendant un certain nombre d'années. |
|---|---|---|---|---|
| | fr. c. | fr. c. | fr. c. | fr. c. |
| **50** | 11 46 74 | 0 47 77 | 87 20 37 | 18,255 92 21 |
| 51 | 12 04 08 | 0 45 18 | 83 05 12 | 18,338 97 33 |
| 52 | 12 64 28 | 0 42 93 | 79 09 64 | 18,418 06 97 |
| 53 | 13 27 50 | 0 40 73 | 75 32 99 | 18,493 39 96 |
| 54 | 13 93 87 | 0 38 64 | 71 74 27 | 18,565 14 25 |
| **55** | 14 63 56 | 0 36 67 | 68 32 64 | 18,633 46 87 |
| 56 | 15 36 74 | 0 34 72 | 65 07 28 | 18,698 54 15 |
| 57 | 16 13 58 | 0 33 03 | 61 97 41 | 18,760 51 56 |
| 58 | 16 94 26 | 0 31 36 | 59 02 29 | 18,819 58 85 |
| 59 | 17 78 97 | 0 29 78 | 56 21 23 | 18,875 75 08 |
| **60** | 18 67 92 | 0 28 28 | 53 53 55 | 18,929 28 63 |
| 61 | 19 61 31 | 0 26 86 | 50 98 63 | 18,980 27 26 |
| 62 | 20 59 38 | 0 25 52 | 48 55 83 | 19,028 83 09 |
| 63 | 21 62 35 | 0 24 24 | 46 24 60 | 19,075 07 69 |
| 64 | 22 70 47 | 0 23 03 | 44 04 38 | 19,119 12 07 |
| **65** | 23 83 99 | 0 21 89 | 41 94 65 | 19,161 06 72 |
| 66 | 25 03 19 | 0 20 81 | 39 94 91 | 19,201 01 63 |
| 67 | 26 28 35 | 0 19 78 | 38 04 67 | 19,239 06 30 |
| 68 | 27 59 77 | 0 18 80 | 36 23 50 | 19,275 29 80 |
| 69 | 28 97 75 | 0 17 87 | 34 50 95 | 19,399 80 75 |
| **70** | 30 42 74 | 0 16 99 | 32 86 62 | 19,312 67 37 |
| 71 | 31 94 77 | 0 16 16 | 31 30 11 | 19,373 97 48 |
| 72 | 33 54 51 | 0 15 36 | 29 81 06 | 19,403 78 54 |
| 73 | 35 22 24 | 0 14 61 | 28 39 10 | 19,432 17 64 |
| 74 | 36 98 35 | 0 13 90 | 27 03 91 | 19,459 21 55 |
| **75** | 38 83 27 | 0 13 22 | 25 75 15 | 19,484 96 70 |
| 76 | 40 77 43 | 0 12 57 | 24 52 53 | 19,509 49 23 |
| 77 | 42 81 30 | 0 11 96 | 23 35 74 | 19,532 84 97 |
| 78 | 44 95 37 | 0 11 38 | 22 24 51 | 19,555 09 48 |
| 79 | 47 20 13 | 0 10 82 | 21 18 58 | 19,576 28 06 |
| **80** | 49 56 14 | 0 10 30 | 20 17 70 | 19,596 45 76 |
| 81 | 52 03 95 | 0 09 61 | 19 21 61 | 19,615 67 37 |
| 82 | 54 64 15 | 0 09 15 | 18 30 11 | 19,633 97 48 |
| 83 | 57 37 36 | 0 08 87 | 17 42 96 | 19,651 40 44 |
| 84 | 60 24 22 | 0 08 44 | 16 59 97 | 19,668 00 41 |
| **85** | 63 25 44 | 0 08 03 | 15 80 92 | 19,683 81 36 |
| 86 | 66 41 71 | 0 07 64 | 15 05 64 | 19,698 86 90 |
| 87 | 69 73 79 | 0 07 27 | 14 33 94 | 19,713 20 91 |
| 88 | 73 22 48 | 0 06 92 | 13 65 66 | 19,726 86 57 |
| 89 | 76 88 60 | 0 06 59 | 13 00 64 | 19,739 87 20 |
| **90** | 80 73 04 | 0 06 21 | 12 38 69 | 19,752 25 89 |
| 91 | 84 76 69 | 0 05 97 | 11 79 71 | 19,764 05 60 |
| 92 | 89 00 52 | 0 05 68 | 11 23 53 | 19,775 29 13 |
| 93 | 93 45 55 | 0 05 41 | 10 70 03 | 19,785 99 16 |
| 94 | 98 12 83 | 0 05 15 | 10 19 08 | 19,796 18 24 |
| **95** | 103 03 47 | 0 04 90 | 9 70 55 | 19,805 88 79 |
| 96 | 108 18 64 | 0 04 67 | 9 24 33 | 19,815 13 12 |
| 97 | 113 59 57 | 0 04 44 | 8 80 32 | 19,823 93 44 |
| 98 | 119 27 55 | 0 04 23 | 8 38 40 | 19,832 31 84 |
| 99 | 125 23 93 | 0 04 03 | 7 98 47 | 19,840 30 31 |
| **100** | 131 50 13 | 0 03 83 | 7 60 45 | 19,847 90 76 |

*Amortissement.* — Pour constituer au bout de $n$ années un capital de 1 franc, le versement à faire à la fin de chaque année a une valeur $b$ (tableau p. 135), qui s'appelle parfois *taux de l'amortissement.*

La somme totale, à payer annuellement, amortissement et intérêts compris, est égale à :

$$b + r.$$

Inversement, le nombre d'années $n$ au bout desquelles une dotation annuelle donnée $b$ constitue un capital de 1 franc, a pour expression :

$$n = \frac{\log (r + b) - \log b}{\lg (1 + r)}.$$

Exemple : A 5 %, si $b = 0^{f},01$, on trouve $n = 36^{ans},7$, ainsi que le montre le tableau p. 140.

---

*Montant d'une somme connue à recevoir ou à dépenser par heure, par jour, par semaine, par mois et par année.*

| Par heure. | Par jour de 10 heures. | Par semaine de 6 jours. | Par an de 52 semaines. | Par jour de 10 heures | Par semaine de 6 jours. | Par mois de 30 jours. | Par an de 12 mois. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| f. c. | f. c. | f. c. | f. c. | f. c. | f. c. | f. c. | f. c. |
| 0 22 | 2 20 | 13 20 | 686 40 | 10 00 | 60 00 | 300 00 | 3,600 00 |
| 0 24 | 2 40 | 14 40 | 748 80 | 12 00 | 72 00 | 360 00 | 4,320 00 |
| 0 25 | 2 50 | 15 00 | 780 00 | 15 00 | 90 00 | 450 00 | 5,400 00 |
| 0 50 | 5 00 | 30 00 | 1,569 00 | 25 00 | 150 00 | 750 00 | 9,000 00 |
| 0 60 | 6 00 | 36 00 | 1,872 00 | 30 00 | 180 00 | 900 00 | 10,800 00 |
| 0 63 | 6 30 | 37 80 | 1,965 60 | 36 00 | 216 00 | 1.080 00 | 12,960 00 |
| 0 69 | 6 90 | 41 40 | 2,152 80 | 45 00 | 270 00 | 1,350 00 | 16,200 00 |
| 0 73 | 7 30 | 43 80 | 2,277 60 | 54 00 | 324 00 | 1,620 00 | 19,440 00 |
| 0 86 | 8 60 | 51 60 | 2.683 00 | 63 00 | 378 00 | 1,890 00 | 22,680 00 |
| 0 90 | 9 00 | 54 00 | 2,808 00 | 72 00 | 432 00 | 2,160 00 | 25,920 00 |

*Nombre d'années nécessaires pour constituer un capital suivant que l'on fait varier la dotation annuelle et le taux de l'intérêt.*

| DOTATION exprimée en 100es du capital à constituer. | Taux de l'intérêt par année, pour 100 francs | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 | 6 1/2 | 6 | 5 1/2 | 5 | 4 1/2 | 4 | 3 1/2 | 3 | 2 1/2 | 2 |
| 0,04 | 76,4 | 80,9 | 86,1 | 92,1 | 90,1 | 107,5 | 117,7 | 130,3 | 146,5 | 168,1 | 198,5 |
| 0,05 | 73,1 | 77,4 | 82,3 | 88,0 | 94,6 | 102,2 | 112,0 | 123,9 | 139,1 | 159,2 | 187,5 |
| 0,10 | 63,0 | 66,5 | 70,5 | 75,2 | 80,6 | 87,0 | 94,7 | 104,2 | 116,2 | 131,9 | 153,7 |
| 0,15 | 57,1 | 60,2 | 63,7 | 67,7 | 72,5 | 78,0 | 84,6 | 92,8 | 103,0 | 116,3 | 134,5 |
| 0,20 | 50,0 | 53,8 | 58,9 | 62,6 | 66,8 | 71,7 | 77,6 | 84,8 | 93,8 | 105,4 | 121,1 |
| 0,25 | 49,8 | 52,3 | 55,2 | 58,6 | 62,4 | 66,9 | 72,2 | 78,7 | 86,8 | 95,1 | 111,0 |
| 0,50 | 40,0 | 41,9 | 44,0 | 46,4 | 49,1 | 52,3 | 56,0 | 68,4 | 65,8 | 72,6 | 81,3 |
| 0,75 | 30,5 | 36,0 | 37,7 | 39,6 | 41,7 | 44,2 | 47,5 | 50,4 | 54,4 | 59,35 | 65,6 |
| 1,00 | 34,7 | 32,0 | 33,4 | 35,0 | 36,7 | 38,7 | 41,0 | 43,7 | 46,9 | 50,7 | 55,5 |
| 1,25 | 27,9 | 29,0 | 30,2 | 31,5 | 33,0 | 34,7 | 36,6 | 33,8 | 41,4 | 44,5 | 48,3 |
| 1,50 | 25,6 | 26,6 | 27,6 | 28,8 | 30,1 | 31,5 | 33,1 | 35,0 | 37,2 | 39,8 | 42,8 |
| 1,75 | 23,8 | 24,6 | 25,5 | 26,5 | 27,7 | 28,9 | 30,3 | 31,9 | 33,8 | 35,95 | 38,5 |
| 2,00 | 22,2 | 23,0 | 23,8 | 24,7 | 25,7 | 26,8 | 28,0 | 29,4 | 34,0 | 32,8 | 35,0 |
| 2,25 | 20,9 | 21,6 | 22,3 | 23,1 | 24,0 | 24,95 | 26,0 | 27,3 | 28,6 | 30,2 | 32,1 |
| 2,50 | 19,7 | 20,3 | 21,0 | 21,7 | 22,5 | 23,4 | 24,4 | 25,4 | 26,7 | 28,1 | 29,7 |
| 2,75 | 18,7 | 19,2 | 19,9 | 20,5 | 21,2 | 22,05 | 22,9 | 23,8 | 25,0 | 26,2 | 27,6 |
| 3,00 | 17,8 | 18,3 | 18,8 | 19,4 | 20,1 | 20,8 | 21,6 | 22,5 | 23,4 | 24,5 | 25,8 |
| 3,25 | 17,0 | 17,4 | 18,0 | 18,5 | 19,1 | 19,7 | 20,4 | 21,3 | 22,1 | 23,1 | 24,2 |
| 3,50 | 16,2 | 16,7 | 17,1 | 17,6 | 18,2 | 18,8 | 19,4 | 20,1 | 20,9 | 21,7 | 22,8 |
| 3,75 | 15,6 | 15,9 | 16,4 | 16,9 | 17,4 | 17,9 | 18,5 | 19,1 | 19,9 | 20,8 | 21,5 |
| 4,00 | 15,0 | 15,3 | 15,7 | 16,15 | 16,6 | 17,1 | 17,7 | 18,3 | 18,9 | 19,7 | 20,5 |
| 4,25 | 14,4 | 14,7 | 15,1 | 15,5 | 15,9 | 16,4 | 16,9 | 17,4 | 18,1 | 18,8 | 19,5 |
| 4,50 | 13,9 | 14,2 | 14,5 | 14,9 | 15,3 | 15,7 | 16,2 | 16,8 | 17,3 | 18,0 | 18,6 |
| 4,75 | 13,4 | 13,7 | 14,0 | 14,5 | 14,7 | 15,2 | 15,6 | 16,1 | 16,6 | 17,2 | 17,7 |
| 5,00 | 12,9 | 13,2 | 13,5 | 13,85 | 14,2 | 14,6 | 15,0 | 15,4 | 15,9 | 16,4 | 17,0 |

## Paiement des journées.

LA JOURNÉE EST SUPPOSÉE DE 10 HEURES DE TRAVAIL RÉEL.

| PRIX de la journée. | NOMBRE D'HEURES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0,50 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| 0,60 | 0,03 | 0,06 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,30 | 0,36 | 0,42 | 0,48 | 0,54 | 0,60 |
| 0,75 | 0,04 | 0,08 | 0,15 | 0,23 | 0,30 | 0,38 | 0,45 | 0,53 | 0,60 | 0,68 | 0,75 |
| 0,90 | 0,05 | 0,09 | 0,18 | 0,27 | 0,36 | 0,45 | 0,54 | 0,63 | 0,72 | 0,81 | 0,90 |
| 1,00 | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| 1,25 | 0,07 | 0,13 | 0,25 | 0,38 | 0,50 | 0,63 | 0,75 | 0,88 | 1,00 | 1,13 | 1,25 |
| 1,50 | 0,08 | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,20 | 1,35 | 1,50 |
| 1,75 | 0,09 | 0,18 | 0,35 | 0,53 | 0,70 | 0,88 | 1,05 | 1,23 | 1,40 | 1,58 | 1,75 |
| 2,00 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 2,00 |
| 2,25 | 0,12 | 0,23 | 0,45 | 0,68 | 0,90 | 1,13 | 1,35 | 1,58 | 1,80 | 2,03 | 2,25 |
| 2,50 | 0,13 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 |
| 2,75 | 0,14 | 0,28 | 0,55 | 0,83 | 1,10 | 1,38 | 1,65 | 1,93 | 2,20 | 2,48 | 2,75 |
| 3,00 | 0,15 | 0,30 | 0,60 | 0,90 | 1,30 | 1,50 | 1,80 | 2,10 | 2,40 | 2,70 | 3,00 |
| 3,25 | 0,17 | 0,33 | 0,65 | 0,98 | 1,20 | 1,63 | 1,95 | 2,28 | 2,60 | 2,93 | 3,25 |
| 3,50 | 0,18 | 0,35 | 0,70 | 1,05 | 1,40 | 1,75 | 2,10 | 2,45 | 2,80 | 3,15 | 3,50 |
| 3,75 | 0,19 | 0,38 | 0,75 | 1,13 | 1,50 | 1,88 | 2,25 | 2,63 | 3,00 | 3,38 | 3,75 |
| 4,00 | 0,20 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | 1,60 | 2,00 | 2,40 | 2,80 | 3,20 | 3,60 | 4,00 |
| 4,25 | 0,22 | 0,43 | 0,85 | 1,28 | 1,70 | 2,13 | 2,55 | 2,98 | 3,40 | 3,83 | 4,25 |
| 4,50 | 0,23 | 0,45 | 0,90 | 1,35 | 1,80 | 2,25 | 2,70 | 3,15 | 3,60 | 4,05 | 4,50 |
| 4,75 | 0,24 | 0,48 | 0,95 | 1,43 | 1,90 | 2,38 | 2,85 | 3,33 | 3,80 | 4,28 | 4,75 |
| 5,00 | 0,25 | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 |
| 5,25 | 0,27 | 0,53 | 1,05 | 1,58 | 2,10 | 2,63 | 3,15 | 3,68 | 4,20 | 4,73 | 5,25 |
| 5,50 | 0,28 | 0,55 | 1,10 | 1,65 | 2,20 | 2,75 | 3,30 | 3,85 | 4,40 | 4,95 | 5,50 |
| 5,75 | 0,29 | 0,58 | 1,15 | 1,73 | 2,30 | 2,88 | 3,45 | 4,03 | 4,60 | 5,18 | 5,75 |
| 6,00 | 0,30 | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 2,40 | 3,00 | 3,60 | 4,20 | 4,80 | 5,40 | 6,00 |
| 6,25 | 0,32 | 0,63 | 1,25 | 1,88 | 2,50 | 3,13 | 3,75 | 4,38 | 5,00 | 5,63 | 6,25 |
| 6,50 | 0,33 | 0,65 | 1,30 | 1,95 | 2,60 | 3,25 | 3,90 | 4,55 | 5,20 | 5,85 | 6,50 |
| 6,75 | 0,34 | 0,68 | 1,35 | 2,03 | 2,70 | 3,38 | 4,05 | 4,73 | 5,40 | 6,08 | 6,75 |
| 7,00 | 0,35 | 0,70 | 1,40 | 2,10 | 2,80 | 3,50 | 4,20 | 4,90 | 5,60 | 6,30 | 7,00 |
| 7,25 | 0,37 | 0,73 | 1,45 | 2,18 | 2,90 | 3,63 | 4,35 | 5,08 | 5,80 | 6,53 | 7,25 |
| 7,50 | 0,38 | 0,75 | 1,50 | 2,25 | 3,00 | 3,75 | 4,50 | 5,25 | 6,00 | 6,75 | 7,50 |
| 7,75 | 0,39 | 0,78 | 1,55 | 2,33 | 3,10 | 3,88 | 4,65 | 5,43 | 6,20 | 6,98 | 7,75 |
| 8,00 | 0,40 | 0,80 | 1,60 | 2,40 | 3,20 | 4,00 | 4,80 | 5,60 | 6,40 | 7,20 | 8,00 |
| 8,25 | 0,42 | 0,83 | 1,65 | 2,48 | 3,30 | 4,13 | 4,95 | 5,78 | 6,60 | 7,43 | 8,25 |
| 8,50 | 0,43 | 0,85 | 1,70 | 2,55 | 3,40 | 4,25 | 5,10 | 5,95 | 6,80 | 7,65 | 8,50 |
| 8,75 | 0,44 | 0,88 | 1,75 | 2,63 | 3,50 | 4,38 | 5,25 | 6,13 | 7,00 | 7,88 | 8,75 |
| 9,00 | 0,45 | 0,90 | 1,80 | 2,70 | 3,60 | 4,50 | 5,40 | 6,30 | 7,20 | 8,10 | 9,00 |
| 9,50 | 0,48 | 0,95 | 1,90 | 2,85 | 3,80 | 4,75 | 5,70 | 6,65 | 7,60 | 8,55 | 9,50 |
| 10,00 | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,00 |

| NOMBRE de jours | PRIX DE LA JOURNÉE. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 0,90 | 1 fr. | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2 fr. | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3 fr. | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4 fr. | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5 fr. |
| 1 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 0,90 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5 |
| 2 | 1,00 | 1,20 | 1,50 | 1,80 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 | 7,50 | 8,00 | 8,50 | 9,00 | 9,50 | 10 |
| 3 | 1,50 | 1,80 | 2,25 | 2,70 | 3,00 | 3,75 | 4,50 | 5,25 | 6,00 | 6,75 | 7,50 | 8,25 | 9,00 | 9,75 | 10,50 | 11,25 | 12,00 | 12,75 | 13,50 | 14,25 | 15 |
| 4 | 2,00 | 2,40 | 3,00 | 3,60 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,00 | 11,00 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 16,00 | 17,00 | 18,00 | 19,00 | 20 |
| 5 | 2,50 | 3,00 | 3,75 | 4,50 | 5,00 | 6,25 | 7,50 | 8,75 | 10,00 | 11,25 | 12,50 | 13,75 | 15,00 | 16,25 | 17,50 | 18,75 | 20,00 | 21,25 | 22,50 | 23,75 | 25 |
| 6 | 3,00 | 3,60 | 4,50 | 5,40 | 6,00 | 7,50 | 9,00 | 10,50 | 12,00 | 13,50 | 15,00 | 16,50 | 18,00 | 19,50 | 21,00 | 22,50 | 24,00 | 25,50 | 27,00 | 28,50 | 30 |
| 7 | 3,50 | 4,20 | 5,25 | 6,30 | 7,00 | 8,75 | 10,50 | 12,25 | 14,00 | 15,75 | 17,50 | 19,25 | 21,00 | 22,75 | 24,50 | 26,25 | 28,00 | 29,75 | 31,50 | 33,25 | 35 |
| 8 | 4,00 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,00 | 10,00 | 12,00 | 14,00 | 16,00 | 18,00 | 20,00 | 22,00 | 24,00 | 26,00 | 28,00 | 30,00 | 32,00 | 34,00 | 36,00 | 38,00 | 40 |
| 9 | 4,50 | 5,40 | 6,75 | 8,10 | 9,00 | 11,25 | 13,50 | 15,75 | 18,00 | 20,25 | 22,50 | 24,75 | 27,00 | 29,25 | 31,50 | 33,75 | 36,00 | 38,25 | 40,50 | 42,75 | 45 |
| 10 | 5,00 | 6,00 | 7,50 | 9,00 | 10,00 | 12,50 | 15,00 | 17,50 | 20,00 | 22,50 | 25,00 | 27,50 | 30,00 | 32,50 | 35,00 | 37,50 | 40,00 | 42,50 | 45,00 | 47,50 | 50 |
| 11 | 5,50 | 6,60 | 8,25 | 9,90 | 11,00 | 13,75 | 16,50 | 19,25 | 22,00 | 24,75 | 27,50 | 30,25 | 33,00 | 35,75 | 38,50 | 41,25 | 44,00 | 46,75 | 49,50 | 52,25 | 55 |
| 12 | 6,00 | 7,20 | 9,00 | 10,80 | 12,00 | 15,00 | 18,00 | 21,00 | 24,00 | 27,00 | 30,00 | 33,00 | 36,00 | 39,00 | 42,00 | 45,00 | 48,00 | 51,00 | 54,00 | 57,00 | 60 |
| 13 | 6,50 | 7,80 | 9,75 | 11,70 | 13,00 | 16,25 | 19,50 | 22,75 | 26,00 | 29,25 | 32,50 | 35,75 | 39,00 | 42,25 | 45,50 | 48,75 | 52,00 | 55,25 | 58,50 | 61,75 | 65 |
| 14 | 7,00 | 8,40 | 10,50 | 12,60 | 14,00 | 17,50 | 21,00 | 24,50 | 28,00 | 31,50 | 35,00 | 38,50 | 42,00 | 45,50 | 49,00 | 52,50 | 56,00 | 59,50 | 63,00 | 66,50 | 70 |
| 15 | 7,50 | 9,00 | 11,25 | 13,50 | 15,00 | 18,75 | 22,50 | 26,25 | 30,00 | 33,75 | 37,50 | 41,25 | 45,00 | 48,75 | 52,50 | 56,25 | 60,00 | 63,75 | 67,50 | 71,25 | 75 |
| 16 | 8,00 | 9,60 | 12,00 | 14,40 | 16,00 | 20,00 | 24,00 | 28,00 | 32,00 | 36,00 | 40,00 | 44,00 | 48,00 | 52,00 | 56,00 | 60,00 | 64,00 | 68,00 | 72,00 | 76,00 | 80 |
| 17 | 8,50 | 10,20 | 12,75 | 15,30 | 17,00 | 21,25 | 25,50 | 29,75 | 34,00 | 38,25 | 42,50 | 46,75 | 51,00 | 55,25 | 59,50 | 63,75 | 68,00 | 72,25 | 76,50 | 80,75 | 85 |
| 18 | 9,00 | 10,80 | 13,50 | 16,20 | 18,00 | 22,50 | 27,00 | 31,50 | 36,00 | 40,50 | 45,00 | 49,50 | 54,00 | 58,50 | 63,00 | 67,50 | 72,00 | 76,50 | 81,00 | 85,50 | 90 |
| 19 | 9,50 | 11,40 | 14,25 | 17,10 | 19,00 | 23,75 | 28,50 | 33,25 | 38,00 | 42,75 | 47,50 | 52,25 | 57,00 | 61,75 | 66,50 | 71,25 | 76,00 | 80,75 | 85,50 | 90,25 | 95 |
| 20 | 10,00 | 12,00 | 15,00 | 18,00 | 20,00 | 25,00 | 30,00 | 35,00 | 40,00 | 45,00 | 50,00 | 55,00 | 60,00 | 65,00 | 70,00 | 75,00 | 80,00 | 85,00 | 90,00 | 95,00 | 100 |
| 21 | 10,50 | 12,60 | 15,75 | 18,90 | 21,00 | 26,25 | 31,50 | 36,75 | 42,00 | 47,25 | 52,50 | 57,75 | 63,00 | 68,25 | 73,50 | 78,75 | 84,00 | 89,25 | 94,50 | 99,75 | 105 |
| 22 | 11,00 | 13,20 | 16,50 | 19,80 | 22,00 | 27,50 | 33,00 | 38,50 | 44,00 | 49,50 | 55,00 | 60,50 | 66,00 | 71,50 | 77,00 | 82,50 | 88,00 | 93,50 | 99,00 | 104,50 | 110 |
| 23 | 11,50 | 13,80 | 17,25 | 20,70 | 23,00 | 28,75 | 34,50 | 40,25 | 46,00 | 51,75 | 57,50 | 63,25 | 69,00 | 74,75 | 80,50 | 86,25 | 92,00 | 97,75 | 103,50 | 109,25 | 115 |
| 24 | 12,00 | 14,40 | 18,00 | 21,60 | 24,00 | 30,00 | 36,00 | 42,00 | 48,00 | 54,00 | 60,00 | 66,00 | 72,00 | 78,00 | 84,00 | 90,00 | 96,00 | 102,00 | 108,00 | 114,00 | 120 |
| 25 | 12,50 | 15,00 | 18,75 | 22,50 | 25,00 | 31,25 | 37,50 | 43,75 | 50,00 | 56,25 | 62,80 | 68,75 | 75,00 | 81,25 | 87,50 | 93,75 | 100,00 | 106,25 | 112,50 | 118,75 | 125 |
| 26 | 13,00 | 15,60 | 19,50 | 23,40 | 26,00 | 32,50 | 39,00 | 45,50 | 52,00 | 58,50 | 65,00 | 71,50 | 78,00 | 84,50 | 91,00 | 97,50 | 104,00 | 110,50 | 117,00 | 123,50 | 130 |
| 27 | 13,50 | 16,20 | 20,25 | 24,30 | 27,00 | 33,75 | 40,50 | 47,25 | 54,00 | 60,75 | 67,50 | 74,25 | 81,00 | 87,75 | 94,50 | 101,25 | 108,00 | 114,75 | 121,50 | 128,25 | 135 |
| 28 | 14,00 | 16,80 | 21,00 | 25,20 | 28,00 | 35,00 | 42,00 | 49,00 | 56,00 | 63,00 | 70,00 | 77,00 | 84,00 | 91,00 | 98,00 | 105,00 | 112,00 | 119,00 | 126,00 | 133,00 | 140 |
| 29 | 14,50 | 17,40 | 21,75 | 26,10 | 29,00 | 36,25 | 43,50 | 50,75 | 58,00 | 63,25 | 72,50 | 79,75 | 87,00 | 94,25 | 101,50 | 108,75 | 116,00 | 123,25 | 130,50 | 137,75 | 145 |
| 30 | 15,00 | 18,00 | 22,50 | 27,90 | 30,00 | 37,50 | 45,00 | 52,50 | 60,00 | 67,50 | 75,00 | 82,50 | 90,00 | 97,50 | 106,00 | 112,50 | 120,00 | 127,50 | 135,00 | 142,50 | 150 |

# MÉCANIQUE GÉNÉRALE

## DÉFINITIONS

INERTIE. Un corps matériel ne peut ni se mettre en mouvement, ni changer sa vitesse, s'il en a une, à moins qu'une cause externe n'agisse sur lui. Cette propriété s'appelle l'*inertie*.

La cause externe s'appelle une *force*.

Dans la nature, il y a différentes forces : la *pesanteur*, l'*attraction moléculaire*, les *forces musculaires des animaux*, la *force expansive des gaz et des vapeurs*, etc., etc.

L'*unité de force* est le *kilogramme*.

MOUVEMENT. Le mouvement est rectiligne ou curviligne, suivant que la trajectoire est droite ou courbe.

Appelons $e$ l'espace parcouru, $t$ le temps.

Le *mouvement est uniforme* quand, dans des temps égaux, les longueurs parcourues sont égales :

$e = vt$, ou $v = \frac{e}{t}$.

$v$ désignant la *vitesse*.

Le *mouvement est varié* quand les espaces parcourus dans des temps égaux ne sont pas égaux.

Dans le cas du mouvement varié, la vitesse $v$ à chaque instant qu'on considère, est $v = \frac{de}{dt}$.

$\frac{dv}{dt} = j$ s'appelle l'*accélération*.

$v$ et $j$ peuvent être déterminer par des constructions graphiques (voir *Calcul différentiel*).

On dit que le mouvement est *uniformément varié* quand les espaces parcourus varient suivant une loi uniforme. Dans le mouvement uniformément varié :

$\frac{dv}{dt} = constante$ ; et $v = v_0 \pm jt$.

Il en résulte que, dans ce mouvement, les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés du temps.

Le corps partant du repos, l'espace parcouru après un temps quelconque $t$ est égal à la moitié de la vitesse acquise multipliée par $t$.

La vitesse acquise est proportionnelle au temps.

## Vitesse en kilomètres par heure, d'après le nombre de secondes employées à parcourir 1 kilomètre.

| Nombre de secondes par kilomèt. | Vitesse moyenne en kilomèt. par heure. | Nombre de secondes par kilomèt. | Vitesse moyenne en kilomèt. par heure. | Nombre de secondes par kilomèt. | Vitesse moyenne en kilomèt. par heure. | Nombre de secondes par kilomèt. | Vitesse moyenne en kilomèt. par heure. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **40** | 90 | **70** | 51,5 | **100** | 36 | **130** | 27,7 |
| 41 | 88 | 71 | 50,8 | 101 | 35,7 | 131 | 27,5 |
| 42 | 85,8 | 72 | 50 | 102 | 35,4 | 132 | 27,3 |
| 43 | 83,8 | 73 | 49,4 | 103 | 35 | 133 | 27,1 |
| 44 | 81,9 | 74 | 48,7 | 104 | 34,7 | 134 | 26,9 |
| **45** | 80 | **75** | 48 | **105** | 34,3 | **135** | 26,6 |
| 46 | 78,4 | 76 | 47,4 | 106 | 33,9 | 136 | 26,4 |
| 47 | 76,7 | 77 | 46,8 | 107 | 33,7 | 137 | 26,2 |
| 48 | 75 | 78 | 46,2 | 108 | 33,4 | 138 | 26,1 |
| 49 | 73,5 | 79 | 45,6 | 109 | 33,1 | 139 | 25,9 |
| **50** | 72 | **80** | 45 | **110** | 32,8 | **140** | 25,7 |
| 51 | 70,7 | 81 | 44,5 | 111 | 32,4 | 141 | 25,5 |
| 52 | 69,9 | 82 | 43,9 | 112 | 32,2 | 142 | 25,4 |
| 53 | 68 | 83 | 43,4 | 113 | 31,8 | 143 | 25,2 |
| 54 | 66,7 | 84 | 42,8 | 114 | 31,6 | 144 | 25 |
| **55** | 65,5 | **85** | 42,4 | **115** | 31,3 | **145** | 24,8 |
| 56 | 64,3 | 86 | 41,9 | 116 | 31 | 146 | 24,7 |
| 57 | 63,2 | 87 | 41,4 | 117 | 30,8 | 147 | 24,5 |
| 58 | 62 | 88 | 40,9 | 118 | 30,5 | 148 | 24,3 |
| 59 | 61 | 89 | 40,5 | 119 | 30,3 | 149 | 24,2 |
| **60** | 60 | **90** | 40 | **120** | 30 | **150** | 24 |
| 61 | 59,1 | 91 | 39,6 | 121 | 29,8 | 151 | 23,8 |
| 62 | 58,2 | 92 | 39,1 | 122 | 29,5 | 152 | 23,7 |
| 63 | 57,2 | 93 | 38,7 | 123 | 29,3 | 153 | 23,5 |
| 64 | 56,3 | 94 | 38,4 | 124 | 29 | 154 | 23,4 |
| **65** | 55,4 | **95** | 37,9 | **125** | 28,8 | **155** | 23,1 |
| 66 | 54,6 | 96 | 37,5 | 126 | 28,6 | 156 | 23 |
| 67 | 53,8 | 97 | 37,1 | 127 | 28,4 | 157 | 22,9 |
| 68 | 53 | 98 | 36,7 | 128 | 28,1 | 158 | 22,8 |
| 69 | 52,2 | 99 | 36,4 | 129 | 27,9 | 159 | 22,6 |

## CHUTE DES CORPS. — PESANTEUR.

Les corps obéissant librement à l'action de la pesanteur prennent un mouvement uniformément varié.

Si on fait abstraction de la résistance de l'air, un corps qui tombe avec une vitesse initiale $v_0$ a parcouru, au bout du temps $t$, un chemin $e = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$.

Sa vitesse $v = v_0 + g t$.

$\frac{dv}{dt} = g$, est ce qu'on appelle l'intensité de la pesanteur. Elle est la même pour tous les corps, mais elle varie avec la latitude; à Paris, $g = 9^m,8088$. (Voir p. 2, diverses expressions relatives à $g$).

Si $v$ est la vitesse acquise en tombant d'une hauteur $h$, sans vitesse initiale

On a :

Hauteur due à la vitesse : $h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{v^2}{2g} = 0.051\, v^2$

Vitesse due à la hauteur : $v = g t = \sqrt{2gh} = 4.43 \sqrt{h}$

Durée de la chute. . . . . $\begin{cases} t = \frac{v}{g} = 0.102\, v \\ t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.45 \sqrt{h} \end{cases}$

Hauteur que parcourt le corps dans la première seconde. . . . . $h_1 = \frac{1}{2} g = 4^m,904.$

Si le corps est lancé verticalement;

Le chemin parcouru $e = v_0 t - \frac{1}{2} g t$,

la vitesse $v = v_0 - g t$,

et l'on a $v^2 - v_0^2 = -2ge$;

le corps cesse de s'élever quand $v_0 = g t$, alors il descend. On voit facilement qu'au moment où il tombe, sa vitesse $= v_0$.

## Hauteurs de chute et vitesses acquises correspondantes.

| Vitesse $v=\sqrt{2gh}$ | Hauteur $h=\frac{v^2}{2g}$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| 0 | 0 | **0,30** | 0,00459 | **0,60** | 0,0184 | **0,90** | 0,0413 |
| **0,01** | 0,00001 | 0,31 | 0,00490 | 0,61 | 0,0190 | 0,91 | 0,0422 |
| 0,02 | 0,00002 | 0,32 | 0,00522 | 0,62 | 0,0196 | 0,92 | 0,0431 |
| 0,03 | 0,00005 | 0,33 | 0,00555 | 0,63 | 0,0202 | 0,93 | 0,0441 |
| 0,04 | 0,00009 | 0,34 | 0,00589 | 0,64 | 0,0209 | 0,94 | 0,0450 |
| **0,05** | 0,00013 | **0,35** | 0,00624 | **0,65** | 0,0215 | **0,95** | 0,0400 |
| 0,06 | 0,00019 | 0,36 | 0,00660 | 0,66 | 0,0222 | 0,96 | 0,0470 |
| 0,07 | 0,00025 | 0,37 | 0,00697 | 0,67 | 0,0229 | 0,97 | 0,0480 |
| 0,08 | 0,00033 | 0,38 | 0,00735 | 0,68 | 0,0236 | 0,98 | 0,0490 |
| 0,09 | 0,00043 | 0,39 | 0,00775 | 0,69 | 0,0243 | 0,99 | 0,0500 |
| **0,10** | 0,00051 | **0,40** | 0,00816 | **0,70** | 0,0250 | **1,00** | 0,0510 |
| 0,11 | 0,00062 | 0,41 | 0,00860 | 0,71 | 0,0257 | 1,05 | 0,0562 |
| 0,12 | 0,00074 | 0,42 | 0,00900 | 0,72 | 0,0264 | 1,10 | 0,0617 |
| 0,13 | 0,00087 | 0,43 | 0,00940 | 0,73 | 0,0272 | 1,15 | 0,0674 |
| 0,14 | 0,00101 | 0,44 | 0,00980 | 0,74 | 0,0279 | 1,20 | 0,0734 |
| **0,15** | 0,00115 | **0,45** | 0,01030 | **0,75** | 0,0287 | **1,25** | 0,0797 |
| 0,16 | 0,00131 | 0,46 | 0,0108 | 0,76 | 0,0295 | 1,30 | 0,0861 |
| 0,17 | 0,00148 | 0,47 | 0,0112 | 0,77 | 0,0302 | 1,35 | 0,0929 |
| 0,18 | 0,00166 | 0,48 | 0,0117 | 0,78 | 0,0310 | 1,40 | 0,0999 |
| 0,19 | 0,00185 | 0,49 | 0,0122 | 0,79 | 0,0318 | 1,45 | 0,1072 |
| **0,20** | 0,00204 | **0,50** | 0,0127 | **0,80** | 0,0326 | **1,50** | 0,1147 |
| 0,21 | 0,00225 | 0,51 | 0,0132 | 0,81 | 0,0334 | 1,55 | 0,1225 |
| 0,22 | 0,00247 | 0,52 | 0,0138 | 0,82 | 0,0343 | 1,60 | 0,1305 |
| 0,23 | 0,00270 | 0,53 | 0,0143 | 0,83 | 0,0351 | 1,65 | 0,1388 |
| 0,24 | 0,00294 | 0,54 | 0,0148 | 0,84 | 0,0360 | 1,70 | 0,1473 |
| **0,25** | 0,00319 | **0,55** | 0,0154 | **0,85** | 0,0368 | **1,75** | 0,1561 |
| 0,26 | 0,00345 | 0,56 | 0,0160 | 0,86 | 0,0377 | 1,80 | 0,1651 |
| 0,27 | 0,00372 | 0,57 | 0,0165 | 0,87 | 0,0386 | 1,85 | 0,1745 |
| 0,28 | 0,00400 | 0,58 | 0,0171 | 0,88 | 0,0395 | 1,90 | 0,1840 |
| 0,29 | 0,00429 | 0,59 | 0,0177 | 0,89 | 0,0404 | 1,95 | 0,1938 |

| Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| **2,00** | 0,2039 | **4,00** | 0,8156 | **6,00** | 1,8351 | **8,00** | 3,2624 |
| 2,05 | 0,2142 | 4,05 | 0,8361 | 6,05 | 1,8658 | 8,05 | 3,3035 |
| 2,10 | 0,2248 | 4,10 | 0,8569 | 6,10 | 1,8968 | 8,10 | 3,3445 |
| 2,15 | 0,2356 | 4,15 | 0,8779 | 6,15 | 1,9280 | 8,15 | 3,3859 |
| 2,20 | 0,2467 | 4,20 | 0,8992 | 6,20 | 1,9595 | 8,20 | 3,4275 |
| **2,25** | 0,2580 | **4,25** | 0,9207 | **6,25** | 1,9912 | **8,25** | 3,4695 |
| 2,30 | 0,2696 | 4,30 | 0,9425 | 6,30 | 2,0232 | 8,30 | 3,5116 |
| 2,35 | 0,2815 | 4,35 | 0,9646 | 6,35 | 2,0554 | 8,35 | 3,5541 |
| 2,40 | 0,2936 | 4,40 | 0,9869 | 6,40 | 2,0879 | 8,40 | 3,5968 |
| 2,45 | 0,3060 | 4,45 | 1,0094 | 6,45 | 2,1207 | 8,45 | 3,6397 |
| **2,50** | 0,3186 | **4,50** | 1,0322 | **6,50** | 2,1537 | **8,50** | 3,6829 |
| 2,55 | 0,3315 | 4,55 | 1,0553 | 6,55 | 2,1869 | 8,55 | 3,7264 |
| 2,60 | 0,3446 | 4,60 | 1,0786 | 6,60 | 2,2205 | 8,60 | 3,7701 |
| 2,65 | 9,3580 | 4,65 | 1,0022 | 6,65 | 2,2542 | 8,65 | 3,8144 |
| 2,70 | 0,3716 | 4,70 | 1,1260 | 6,70 | 2,2883 | 8,70 | 3,8583 |
| **2,75** | 0,3855 | **4,75** | 1,1501 | **6,75** | 2,3225 | **8,75** | 3,9028 |
| 2,80 | 0,3996 | 4,80 | 1,1744 | 6,80 | 2,3571 | 8,80 | 3,9475 |
| 2,85 | 0,4140 | 4,85 | 1,1990 | 6,85 | 2,3919 | 8,85 | 3,9925 |
| 2,90 | 0,4287 | 4,90 | 1,2239 | 6,90 | 2,4269 | 8,90 | 4,0377 |
| 2,95 | 0,4436 | 4,95 | 1,2490 | 6,95 | 2,4622 | 8,95 | 4,0832 |
| **3,00** | 0,4588 | **5,00** | 1,2744 | **7,00** | 2,4978 | **9,00** | 4,1290 |
| 3,05 | 0,4742 | 5,05 | 1,3000 | 7,05 | 2,5336 | 9,05 | 4,1750 |
| 3,10 | 0,4899 | 5,10 | 1,3258 | 7,10 | 2,5696 | 9,10 | 4,2212 |
| 3,15 | 0,5058 | 5,15 | 1,3520 | 7,15 | 2,6060 | 9,15 | 4,2677 |
| 3,20 | 0,5220 | 5,20 | 1,3784 | 7,20 | 2,6425 | 9,20 | 4,3145 |
| **3,25** | 0,5384 | **5,25** | 1,4050 | **7,25** | 2,6794 | **9,25** | 4,3615 |
| 3,30 | 0,5551 | 5,30 | 1,4319 | 7,30 | 2,7164 | 9,30 | 4,4088 |
| 3,35 | 0,5721 | 5,35 | 1,4590 | 7,35 | 2,7538 | 9,35 | 4,4563 |
| 3,40 | 0,5893 | 5,40 | 1,4864 | 7,40 | 2,7914 | 9,40 | 4,5041 |
| 3,45 | 0,6067 | 5,45 | 1,5141 | 7,45 | 2,8292 | 9,45 | 4,5522 |
| **3,50** | 0,6244 | **5,50** | 1,5420 | **7,50** | 2,8673 | **9,50** | 4,6005 |
| 3,55 | 0,6424 | 5,55 | 1,5704 | 7,55 | 2,9057 | 9,55 | 4,6490 |
| 3,60 | 0,6606 | 5,60 | 1,5986 | 7,60 | 2,9443 | 9,60 | 4,6978 |
| 3,65 | 0,6791 | 5,65 | 1,6272 | 7,65 | 2,9832 | 9,65 | 4,7469 |
| 3,70 | 0,6978 | 5,70 | 1,6562 | 7,70 | 3,0223 | 9,70 | 4,7962 |
| **3,75** | 0,7168 | **5,75** | 1,6854 | **7,75** | 3,0617 | **9,75** | 4,8458 |
| 3,80 | 0,7361 | 5,80 | 1,7148 | 7,80 | 3,1013 | 9,80 | 4,8956 |
| 3,85 | 0,7556 | 5,85 | 1,7445 | 7,85 | 3,1412 | 9,85 | 4,9457 |
| 3,90 | 0,7753 | 5,90 | 1,7744 | 7,90 | 3,1813 | 9,90 | 4,9960 |
| 3,95 | 0,7953 | 5,95 | 1,8046 | 7,95 | 3,2217 | 9,95 | 5,0466 |
| | | | | | | **10,00** | 5,0975 |

## Hauteurs de chute et vitesses acquises correspondantes pour des valeurs de *h* supérieures à 5 mètres.

(*Suite du tableau précédent*).

| Hauteur *h* | Vitesse *v* | Hauteur *h* | Vitesse *v* | Hauteur *h* | Vitesse *v* | Hauteur *h* | Vitesse *v* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| **5,05** | 9,955 | **6,80** | 11,552 | **8,55** | 12,953 | **10,60** | 14,422 |
| 5,10 | 10,003 | 6,85 | 11,594 | 8,60 | 12,991 | 10,70 | 14,489 |
| 5,15 | 10,053 | 6,90 | 11,636 | 8,65 | 13,029 | 10,80 | 14,548 |
| 5,20 | 10,101 | 6,95 | 11,688 | 8,70 | 13,066 | 10,90 | 14,612 |
| 5,25 | 10,150 | 7,00 | 11,720 | 8,75 | 13,103 | 11,00 | 14,678 |
| **5,30** | 10,198 | **7,05** | 11,762 | **8,80** | 13,141 | **11,10** | 14,752 |
| 5,35 | 10,246 | 7,10 | 11,803 | 8,85 | 13,178 | 11,20 | 14,800 |
| 5,40 | 10,294 | 7,15 | 11,845 | 8,90 | 13,216 | 11,30 | 14,878 |
| 5,45 | 10,341 | 7,20 | 11,887 | 8,95 | 13,252 | 11,40 | 14,940 |
| 5,50 | 10,389 | 7,25 | 11,928 | 9,00 | 13,290 | 11,50 | 15,015 |
| **5,55** | 10,436 | **7,30** | 11,968 | **9,05** | 13,326 | **11,60** | 15,086 |
| 5,60 | 10,483 | 7,35 | 12,010 | 9,10 | 13,362 | 11,70 | 15,151 |
| 5,65 | 10,529 | 7,40 | 12,050 | 9,15 | 13,400 | 11,80 | 15,215 |
| 5,70 | 10,576 | 7,45 | 12,090 | 9,20 | 13,436 | 11,90 | 15,279 |
| 5,75 | 10,622 | 7,50 | 12,132 | 9,25 | 13,473 | 12,00 | 15,344 |
| **5,80** | 10,668 | **7,55** | 12,172 | **9,30** | 13,509 | **12,10** | 15,407 |
| 5,85 | 10,714 | 7,60 | 12,212 | 9,35 | 13,546 | 12,20 | 15,471 |
| 5,90 | 10,760 | 7,65 | 12,252 | 9,40 | 13,581 | 12,30 | 15,534 |
| 5,95 | 10,806 | 7,70 | 12,292 | 9,45 | 13,618 | 12,40 | 15,597 |
| 6,00 | 10,851 | 7,75 | 12,332 | 9,50 | 13,656 | 12,50 | 15,660 |
| **6,05** | 10,896 | **7,80** | 12,372 | **9,55** | 13,690 | **12,60** | 15,722 |
| 6,10 | 10,941 | 7,85 | 12,411 | 9,60 | 13,725 | 12,70 | 15,784 |
| 6,15 | 10,985 | 7,90 | 12,451 | 9,65 | 13,761 | 12,80 | 15,847 |
| 6,20 | 11,030 | 7,95 | 12,490 | 9,70 | 13,797 | 12,90 | 15,908 |
| 6,25 | 11,075 | 7,00 | 12,529 | 9,75 | 13,832 | 13,00 | 15,969 |
| **6,30** | 11,118 | **8,05** | 12,568 | **9,80** | 13,868 | **13,10** | 16,031 |
| 6,35 | 11,163 | 8,10 | 12,607 | 9,85 | 13,903 | 13,20 | 16,092 |
| 6,40 | 11,207 | 8,15 | 12,646 | 9,90 | 13,938 | 13,30 | 16,153 |
| 6,45 | 11,250 | 8,20 | 12,685 | 9,95 | 13,973 | 13,40 | 16,214 |
| 6,50 | 11,294 | 8,25 | 12,724 | 10,00 | 14,008 | 13,50 | 16,274 |
| **6,55** | 11,337 | **8,30** | 12,762 | **10,10** | 14,071 | **13,60** | 16,334 |
| 6,60 | 11,380 | 8,35 | 12,800 | 10,20 | 14,142 | 13,70 | 16,358 |
| 6,65 | 11,443 | 8,40 | 12,839 | 10,30 | 14,212 | 13,80 | 16,454 |
| 6,70 | 11,466 | 8,45 | 12,877 | 10,40 | 14,282 | 13,90 | 16,515 |
| 6,75 | 11,509 | 8,50 | 12,915 | 10,50 | 14,352 | 14,00 | 16,573 |

| Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ | Hauteur $h$ | Vitesse $v$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| **14,10** | 16,632 | **16,10** | 17,773 | **18,10** | 18,844 | **30,00** | 24,261 |
| 14,20 | 16,691 | 16,20 | 17,828 | 18,20 | 18,890 | 40,00 | 28,014 |
| 14,30 | 16,750 | 16,30 | 17,883 | 18,30 | 18,948 | 50,00 | 31,492 |
| 14,40 | 16,808 | 16,40 | 17,937 | 18,40 | 19,000 | 60,00 | 34,310 |
| 14,50 | 16,866 | 16,50 | 17,992 | 18,50 | 19,051 | 70,00 | 37,059 |
| **14,60** | 16,924 | **16,60** | 18,046 | **18,60** | 19,103 | **80,00** | 39,618 |
| 14,70 | 16,982 | 16,70 | 18,101 | 18,70 | 19,154 | 90,00 | 42,021 |
| 14,80 | 17,040 | 16,80 | 18,155 | 18,80 | 19,205 | 100,00 | 44,294 |
| 14,90 | 17,097 | 16,90 | 18,209 | 18,90 | 19,253 | 500,00 | 99,045 |
| 15,00 | 17,146 | 17,00 | 18,263 | 19,00 | 19,307 | | |
| **15,10** | 17,212 | **17,10** | 18,316 | **19,10** | 19,358 | | |
| 15,20 | 17,269 | 17,20 | 18,370 | 19,20 | 19,408 | | |
| 15,30 | 17,325 | 17,30 | 18,423 | 19,30 | 19,459 | | |
| 15,40 | 17,382 | 17,40 | 18,476 | 19,40 | 19,509 | | |
| 15,50 | 17,438 | 17,50 | 18,529 | 19,50 | 19,559 | | |
| **15,60** | 17,494 | **17,60** | 18,582 | **19,60** | 19,609 | | |
| 15,70 | 17,549 | 17,70 | 18,635 | 19,70 | 19,659 | | |
| 15,80 | 17,606 | 17,80 | 18,688 | 19,80 | 19,709 | | |
| 15,90 | 17,662 | 17,90 | 18,740 | 19,90 | 19,759 | | |
| 16,00 | 17,717 | 18,00 | 18,792 | 20,00 | 19,809 | | |

*Effet de la résistance de l'air sur la chûte des corps.* — La résistance de l'air dans le mouvement vertical d'un corps pesant est regardée comme proportionnelle au carré de la vitesse.

Soit R la résistance ; $p$ le poids du mètre cube du fluide, A l'aire de la projection du corps sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement, $v$ la vitesse du mobile, $k$ un coefficient à déterminer par l'expérience, on admet la relation

$$R = K.pA\frac{v^2}{2g}$$

Dans le cas d'une sphère se mouvant dans l'air

K = 0.60 pour des vitesses de $1^m,00$ à $3^m,00$
K = 0.65 — $5^m,00$ à $25^m,00$
K = 0.70 — $25^m,00$ à $100^m,00$

Piobert a été conduit à représenter la résistance des projectiles pour l'air par la formule

$$R = kpA\frac{v^2}{2g}(1 + \alpha v);$$

dans le cas des projectiles sphériques il a donné aux coefficients $k$ et $\alpha$ les valeurs :

$$k = 0,4077 \qquad \alpha = 0,0023.$$

Le mouvement d'un corps pesan qui tombe dans un fluide homogène, tend continuellement à devenir vertical et uniforme ; et la vitesse constante, de son mouvement final, toutes choses égales d'ailleurs est proportionnelle à la racine quarrée de la densité du mobile et inverse à la racine carrée de la densité du fluide. Soit P le poids du corps dans le vide ; P′ le poids de l'air qu'il déplace ; $v$ la vitesse du corps, et les autres notations comme ci-dessus,

on aura $$v = \sqrt{\frac{2g(P - P')}{KpA}}.$$

## PENDULE.

Le pendule simple consiste en un point matériel pesant, suspendu à l'extrémité d'un fil dénué de pesanteur, inflexible, inextensible, et attaché par son autre extrémité à un point fixe.

Soit $l$ la longueur d'un pendule simple, $g$ l'intensité de la pesanteur, T la durée d'une oscillation, le pendule oscillant dans le vide :

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Cette formule permet de déterminer l'intensité de la pesanteur dans tous les points de la terre, la résistance de l'air étant négligeable et n'ayant pour effet, pour de petites oscillations que de réduire leur amplitude, et le pendule composé pouvant toujours être ramené par le calcul à un pendule simple. Lorsque l'on fait l'expérience, on calcule la longueur $l$ du pendule simple qui ferait les oscillations dans le même temps que le pendule imposé par la formule

$$l = \frac{a^2 + k^2}{a}.$$

$a$ longueur comprise entre le centre de gravité du pendule composé au centre de suspension et $k^2$ le rayon de gyration de la masse par rapport à un axe mené, par le centre de gravité, parallèlement à l'axe de suspension.

Pour le pendule qui bat la seconde, à Paris : $l = 0^m,99384$.

## CENTRES DE GRAVITÉ.

Le *centre de gravité* d'un corps est un point par lequel passe constamment la résultante des actions de la pesanteur ; on l'appelle encore *centre de masse*, ou *centre des moyennes distances*. Dans les corps de forme régulière et homogènes c'est le centre de figure.

Toute figure qui a un centre de symétrie a son centre de gravité en ce point. Tels sont la *ligne droite*, le *parallélogramme*, le *cercle*, le *parallèlipipède*, la *sphère*, le *cylindre à bases parallèles*, etc.

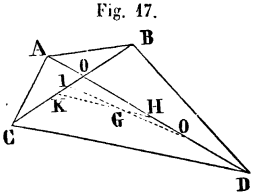
Le C. de G du *contour d'un triangle* est au centre du cercle inscrit dans le triangle formé par les lignes qui joignent les milieux des trois côtés.

Le C. de G. d'un *arc de cercle* est sur le rayon aboutissant au milieu de l'axe, à une distance du centre $= \frac{rc}{l}$ ; $r$ étant le rayon, $c$ la corde, $l$ la longueur de l'arc.

Le C. de G. de l'*aire d'un triangle* est au $\frac{1}{3}$ de la ligne menée de l'un quelconque des angles au milieu du côté opposé et à partir de ce côté.

C. de G. de l'*aire du demi-cercle*. Distance au centre $= \frac{3r}{4\pi}$, $r$ rayon ; $\pi$ rapport de la circonférence au diamètre.

Fig. 17.




C. de G. d'un *quadrilatère* ; tirez les deux diagonales, marquez le point I au milieu de l'une d'elles CE ; portez DO′ égal à AO ; joignez ensuite les points I et O′, et le centre de gravité G se trouvera au tiers de IO′ à partir de I. Il se trouvera aussi sur la droite HK obtenue en joignant le milieu H de la diagonale AD, au point K de l'autre diagonale tel que CK = BO.

C. de G. d'un *secteur circulaire* ; distance au centre $= \frac{2rc}{3l}$ $c$ corde, $l$ longueur de l'arc.

Le C. de G. d'une *pyramide à base quelconque* est sur une ligne menée du sommet au centre de gravité de la base, et au quart de cette ligne à partir de la base. Il est pour la *pyramide*

*triangulaire*, au milieu de la droite qui joint le milieu de deux arêtes opposées.

Le C. de G. d'une *calotte sphérique* est au milieu de la hauteur.

Le C. de G. du volume d'un *tronc de cône* est situé sur l'axe, à une distance de la grande base $= \frac{h[(R+r)^2+2r^2]}{4[(R+r)^2-Rr]}$; R, rayon de la grande base, $r$, rayon de la petite, $h$, hauteur.

G. de G. du volume d'un *secteur sphérique;* distance au centre $= \frac{4}{3}(r-\frac{1}{2}f)$; $f$, flèche de l'arc.

C. de G. d'un *segment sphérique;* distance au centre $= \frac{\pi f^2 (r-\frac{1}{2}f)^2}{v}$; $v$, volume du segment.

C. de G. des *polygones;* s'il s'agit d'un quadrilatère, on le décompose en deux systèmes de triangles, et son centre de gravité se trouve à l'intersection des droites qui joignent les centres de gravité des deux triangles de chaque système.

Pour un *pentagone*, la décomposition se fait en deux systèmes d'un quadrilatère et d'un triangle, et l'on joint de même les centres de gravité des quadrilatères et triangle de chaque système.

---

## PRINCIPES GÉNÉRAUX.

**Principe de d'Alembert.** — De quelque manière que plusieurs corps viennent à changer leurs mouvements actuels, si l'on conçoit que le mouvement que chaque corps aurait dans l'instant suivant, s'il devenait libre, soit décomposé en deux autres, dont l'un soit celui qu'il aura réellement après le changement, le second doit être tel que si chacun des corps n'eut eu d'autre mouvement que ce second, tous les corps fussent demeurés en équilibre.

*Autre énoncé.* — Pour chacune des variations infiniment petites du mouvement d'un système de points liés d'une manière quelconque l'ensemble des forces mouvantes fait à chaque instant équilibre sur le système, et en ayant égard à ses liaisons, à l'ensemble des *forces d'inertie* relatives à la variation effective du mouvement de chacun des points matériels.

*Principe des vitesses virtuelles.* — On peut l'énoncer comme

suit dans la mécanique appliquée : Le travail des puissances est égal au travail des résistances dans toute machine en équilibre sous l'action des forces qui lui sont appliquées.

*Principe des forces vives* ou *de la transmission du travail.*— Dans tout système de corps en mouvement, la différence entre la somme des travaux mouvants et celle des travaux résistants pendant un temps quelconque, est numériquement égale à la variation de la demi-somme des forces vives de toutes les masses du système pendant le même temps.

**Principe de Carnot.** — Toutes les fois qu'il survient un choc entre deux pièces d'une machine tellement constituées que la déformation de ces pièces persiste pendant toute la durée de leur contact, le travail perdu par cette déformation pour l'effet utile de la machine, s'obtiendra en retranchant la demi-somme des forces vives des deux pièces après le choc, de la demi-somme des forces vives dont elles étaient animées avant le choc.

### FORCES CENTRIPÈTE ET CENTRIFUGE.

Si un corps du poids P décrit un arc de cercle de rayon $r$ avec une vitesse angulaire $\omega$ ou une vitesse liniaire $v = \omega r$, c'est qu'une force *centripète* l'assujetti à demeurer sur la courbe : la *force centrifuge*, précisément égale et de sens contraire, est la réaction correspondante. L'une ou l'autre exprime donc la valeur de la tension du fil qui empêcherait le poids P de s'éloigner du centre : cette valeur est en kilogrammes,

$$\frac{P}{g}\omega^2 r = \frac{P}{g}\frac{v^2}{r}.$$

### VOLANT.

La puissance régulatrice d'un volant est proportionnelle à son poids et au carré de sa vitesse; on a, d'après Watt,

l'équation $P v^2 = k \times \frac{32n}{m}$, d'où on tire :

Le poids du volant, $P = k \times \frac{32n}{m v^2}$

La vitesse du volant, $v = \sqrt{k \times \frac{32n}{mP}}$.

Dans ces formules, on désigne par :
P le poids du volant en kilogr. ;

$v$ sa vitesse à la circonférence;
$n$ la force en chevaux de la machine;
$m$ le nombre de tours du volant par seconde;
$k$ un coefficient d'expérience variant avec le degré de régularité demandé et le système plus ou moins régulier de la machine. M. Morin le fait varier depuis 415, pour une machine sans détente à trois cylindres conjugués (c'est-à-dire très-régulière par elle-même), jusqu'à 7845 pour la machine avec détente au cinquième et à un seul cylindre. Avec une détente plus prolongée, le coefficient serait évidemment bien plus fort; encore faut-il supposer une absence de chocs.

## TRAVAIL MÉCANIQUE.

On appelle *travail d'une force* F, si cette force est constante, le produit de la force par le chemin qu'a parcouru le mobile.

Plus généralement,

$$dT = F\,ds \cos.\,(F\,ds),$$

c'est-à-dire que pour un déplacement infiniment petit la différentielle du travail T d'une force = le produit de la force par la différentielle $ds$ du chemin parcouru, multiplié par le cosinus de l'angle que fait la direction de la force avec celle du chemin parcouru par le mobile.

Le travail pour un chemin donné est

$$T = \int F\,ds \cos.\,(F\,ds).$$

L'unité de travail adoptée en France correspond à une force de 1 kilogramme agissant dans l'étendue de 1 mètre, on l'appelle *kilogrammètre*. Coriolis a appelé *dynamode* la quantité de travail exprimée par 1,000 kilogrammètres.

Cette unité est indépendante du temps; mais dans l'industrie on fait intervenir la durée du temps pendant lequel se produit le travail, et on a adopté comme terme de comparaison un travail de 75 kilogrammètres par seconde, qu'on appelle *cheval-vapeur* ou cheval dynamique.

En Angleterre, le travail pris par unité est celui de 1 *pound* ($0^{k},454$) élevé à 1 *foot* de hauteur ($0^{m},305$), on l'appelle *foot-pound*.

$$1 \text{ foot-pound} = 0^{kgm},138,253$$

Le cheval dynamique anglais (*horse-power*) est un travail de 550 *feet-pounds* (soit 76 kilogrammètres) par seconde.

1 horse-power = 1,014 cheval-vapeur français.

# Emploi des moteurs animés.

QUANTITÉS DE TRAVAIL QUE PEUVENT FOURNIR L'HOMME ET LES ANIMAUX DANS DIFFÉRENTES CIRCONSTANCES.

| NATURE DU TRAVAIL. | Poids élevé ou effort moyen exercé. | Vitesse ou chemin par seconde | Travail par seconde | Durée du travail journalier. | Quantité de travail journalier en kilogrammètres. |
|---|---|---|---|---|---|
| **1° Élévation verticale des Poids.** | kilogr. | mètres | k. m. | heures | kgm. |
| Un homme montant une rampe douce ou un escalier sans fardeau, son travail consistant dans l'élévation du poids de son corps | 65 | 0, 15 | 9, 75 | 8 | 280800 |
| Un manœuvre levant des poids avec une corde et une poulie, ce qui l'oblige à faire descendre la corde à vide | 18 | 0, 20 | 3, 60 | 6 | 77760 |
| Un manœuvre élevant des poids en les soulevant avec la main | 20 | 0, 17 | 3, 40 | 6 | 73440 |
| Un manœuvre élevant des poids en les portant sur son dos au haut d'une rampe douce ou d'un escalier, et revenant à vide | 65 | 0, 04 | 2, 60 | 6 | 56160 |
| Un manœuvre élevant des matériaux avec une brouette en montant une rampe au 1/12e, et revenant à vide | 60 | 0, 02 | 1, 20 | 10 | 43200 |
| Un manœuvre élevant des terres à la pelle à la hauteur moyenne de 1m,60. | 2, 7 | 0, 40 | 1, 08 | 10 | 38880 |
| **2° Action sur les machines.** | | | | | |
| Un manœuvre agissant sur une roue à chevilles ou à tambour au niveau de l'axe de la roue | 60 | 0, 15 | 9 | 8 | 239200 |
| Vers le bas de la roue ou à 24° | 22 | 0, 70 | 8, 4 | 8 | 251120 |
| Un manœuvre marchant et poussant, ou tirant horizontalement | 12 | 0, 60 | 7, 2 | 8 | 207360 |
| Un manœuvre agissant sur une manivelle | 8 | 0, 75 | 6 | 8 | 172800 |
| Un manœuvre exercé, poussant et tirant alternativement dans le sens vertical | 10 | 0, 75 | 4, 5 | 10 | 162000 |
| Un cheval attelé à une voiture ordinaire et allant au pas | 70 | 0, 9 | 63 | 10 | 2168000 |
| Un cheval attelé à un manége et allant au pas | 45 | 0, 9 | 40, 5 | 8 | 1166400 |
| Un cheval attelé à un manége et allant au trot | 30 | 2, 0 | 60 | 4, 5 | 972400 |
| Un bœuf attelé à un manége et allant au pas | 65 | 0, 6 | 39 | 8 | 1123200 |
| Un mulet attelé de même et allant au pas | 30 | 0, 9 | 27 | 8 | 777600 |
| Un âne attelé de même et allant au pas | 14 | 0, 8 | 11, 6 | 8 | 334080 |

**Données relatives au transport horizontal.**

| ODE D'EMPLOI DU MOTEUR. | Poids transporté. | Vitesse ou chemin par seconde | Durée du travail journalier. | Produit à la fin de la journée, du poids total transporté par la distance (1). |
|---|---|---|---|---|
| | kilogr. | mètres | heures. | kgm |
| Un homme marchant sur un chemin horizontal sans fardeau, son travail consistant dans le transport du poids de son corps. . . . . | 65 | 1, 50 | 10 | 3510000 |
| Un manœuvre transportant des matériaux dans un camion à deux roues, et revenant à vide . . . . . | 100 | 0, 50 | 10 | 1800000 |
| Un manœuvre transportant des matériaux dans une brouette et revenant à vide. . . . . | 60 | 0, 50 | 10 | 1080000 |
| Un homme transportant continuellement des fardeaux sur son dos. . . . . | 40 | 0, 75 | 7 | 756000 |
| Un manœuvre transportant des matériaux sur son dos, et revenant à vide. . . . . | 65 | 0, 50 | 6 | 702000 |
| Un manœuvre transportant des fardeaux sur une civière, et revenant à vide. . . . . | 50 | 0, 33 | 10 | 594000 |
| Un manœuvre employé à jeter de la terre au moyen de la pelle à 4 mètres de distance horizontale . . . . . | 2,7 | 0, 68 | 10 | 64800 |
| Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette et marchant au pas, continuellement chargé. . . . . | 700 | 1, 10 | 10 | 27720000 |
| Un cheval attelé à une voiture et marchant au trot, continuellement chargé . . . . . | 350 | 2, 20 | 4, 5 | 12474000 |
| Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette, au pas, et revenant à vide . . . . . | 700 | 0, 60 | 10 | 15120000 |
| Un cheval chargé sur le dos et allant au pas . . . . . | 120 | 1, 10 | 10 | 4752000 |
| Un cheval chargé sur le dos et allant au trot . . . . . | 80 | 2, 20 | 7 | 4435200 |

(1) Le travail dynamique par seconde est le produit de la vitesse par l'effort de tirage, lequel dépend de l'état de la route et des frottements.

**Effort moyen, en kilogrammes, qu'un homme peut exercer, pendant un court intervalle de temps, avec différents outils** (CLAUDEL).

| Outils. | Kilog. |
|---|---|
| Une plane . . . . . | 45 |
| Une tarière, avec les deux mains. | 45 |
| Une clef d'écrou. . . . . | 38 |
| Un étau ordinaire, en agissant sur la clef. . . . . | 33 |
| Un ciseau ou un foret, dans le sens vertical . . . . . | 33 |
| Une manivelle. . . . . | 30 |
| Une tenaille ou une pince, en agissant par compression. . . | 27 |
| Un rabot à main . . . . . | 23 |
| Un étau à main. . . . . | 20 |
| Une scie à main . . . . . | 16 |
| Un vilebrequin . . . . . | 7 |
| Un petit tournevis, ou en tournant avec le pouce et les doigts | |

# FABRICATIONS DIVERSES.

**Quantités de travail dynamique nécessaires pour produire divers effets utiles, d'après** Coriolis, Clément, Mallet, etc.

| NATURE ET QUANTITÉS. des effets à produire. | Sur quelle partie de la machine on évalue le travail moteur et le travail résistant. | Travail dynamique exprimé en dynamodes ou 1000 kgm. |
|---|---|---|
| **Mouture du blé.** | | d |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes de blé à moudre assez grossièrement, dans un moulin à vent. . . . . | Travail résistant sur l'arbre qui porte les ailes. . . . . | 301 |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes à moudre à la grosse, dans des moulins ordinaires. . . . . | Travail résistant sur l'arbre qui porte les meules . . . . . | 419 |
| *Idem*. . . . . *idem*. . . . . | Travail résistant sur l'arbre de la roue hydraulique . . . . | 611 |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes à moudre et remoudre sur grnaux. . . | Travail résistant sur l'arbre qui porte la meule. . . . . | 628 |
| *Idem*, le moteur étant une chute d'eau. | Travail résistant sur l'arbre de la roue hydraulique . . . . | 916 |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes, à moudre suivant le système anglais, dans des moulins mus par une machine à vapeur . . . . . | Travail résistant sur l'arbre du volant. . | 802 |
| *Idem*. . . . . *idem*. . . . . | *Idem* . . . . . | 813 |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes à moudre et remoudre sur gruaux, dans un moulin mu par une chute d'eau, à l'aide d'une route à augets . . | Travail moteur dû à la descente de l'eau du niveau du bief supérieur au bief inférieur. . . . . | 1022 |
| **Battage et vannage du blé.** | | |
| Un hectolitre de blé ou 75 kilogrammes, à retirer des gerbes, tout vanné, à l'aide d'une machine. . . . . | Travail résistant sur l'arbre de la première roue motrice. | 40 |
| **Fabrication d'huile.** | | |
| Un kilogramme d'huile à retirer de l'écrasement par le choc et la pression des graines écrasées, à l'aide de pilons mus par un moulin à vent. . . . . | Travail résistant sur l'arbre qui porte les ailes. . . . . | 146 |
| Pour produire le même effet à l'aide d'un écrasement sans choc et de la pression des graines écrasées, le moteur étant une machine à vapeur. . . . | Travail résistant sur l'arbre du volant. . | 34 |
| *Idem*, suivant une autre observation. . . | *Idem* . . . . . | 25 |
| **Sciage des matériaux.** | | |
| Mètre carré de sapin à scier par une machine à vapeur. . . . . | Travail moteur sur l'arbre du volant. . | 60 |
| Mètre carré de chêne sec, à scier à l'aide d'une machine, le trait de scie ayant de 0m,003 à 0m,004 d'épaisseur. . . . . | Travail résistant sur la scie. . . . . | 63 |

| NATURE ET QUANTITÉS des effets à produire. | Sur quelle partie de la machine on évalue le travail moteur et le travail résistant. | Travail dynamique exprimé en dynamodes ou 1000 kgm. |
|---|---|---|
| Mètre carré d'orme à scier, le trait de scie ayant 0m,003 à 0m,004 d'épaisseur. | Travail résistant sur la scie | 4 71 |
| Mètre carré de chêne vert à scier à bras d'homme | *Idem* | 43 |
| Mètre carré de chêne vert à scier, en employant une chute d'eau, à l'aide d'une roue à palette non emboîtée | Travail moteur dû à la chute d'eau | 129 |
| Mètre carré de pierre de roche des environs de Paris, ou mètre carré de marbre à scier par des hommes | Travail résistant sur la scie | 295 |
| Mètre carré de granit, à scier par des hommes | *Idem* | 2, 069 |
| **Fabrication du tan.** | | |
| 100 kilog. de tan à produire, en broyant l'écorce à l'aide d'une machine | Travail résistant sur l'arbre de la première roue motrice | 466 |
| **Fabrication du papier.** | | |
| 100 kilogrammes de vieux cordages à réduire en pâte par la trituration, à l'aide de pilons mus par une machine à vapeur | Travail résistant sur l'arbre du volant | 5, 700 |
| **Filature de coton.** | | |
| Pour filer un kilogramme de fil n° 40, c'est-à-dire deux livres métriques de chacune 40,000 mètres, et pour exécuter toutes les préparations nécessaires en filant avec les mull-jennys, prenant les vitesses les plus ordinaires | Travail résistant sur l'arbre du volant de la machine à vapeur | 204 |
| D'après une autre observation faite en 1822, il faudrait pour filer un kilogramme du n° 30, y compris toutes les préparations | *Idem* | 0 |
| Pour filer un kilogramme n° 40 avec les broches continues, y compris toutes les préparations | Travail résistant sur l'arbre du volant de la machine | 408 |
| *Idem*, d'après une autre observation faite en 1822 | *Idem* | 450 |
| Pour préparer un kilogramme de coton au batteur éplucheur | *Idem* | 6, 37 |
| Pour préparer un kilogramme au batteur étaleur | *Idem* | 9, 60 |
| Pour passer un kilogramme aux cardes laminoir et boudinnerie, et pour carder deux fois | *Idem* | 96 |
| Pour préparer un kilogramme aux métiers d'apprêts ou aux broches bellys | *Idem* | 19, 15 |
| Pour filer seulement un kilogramme de fil n° 30, avec les mull-jennys, faisant 3,690 tours par minute, sans les préparations | *Idem* | 159 |
| Ce kilogramme, pour ce numéro, est le produit de 30 à 32 broches travaillant pendant quatorze heures | | |

| NATURE ET QUANTITÉS des effets à produire. | Sur quelle partie de la machine on évalue le travail moteur et le travail résistant. | Travail dynamique exprimé en dynamodes ou 1000 kgm. |
|---|---|---|
| Pour filer le n° 24 aux broches continues seulement sans les préparations; les broches faisant 2,430 tours par minute. Ce kilogramme, pour ce numéro, est le produit de 15 broches travaillant 14 heures. . . . . | Travail résistant sur l'arbre du volant de la machine. . . . . | 319 |
| NOTA. Tous ces résultats sur les filatures sont déduits d'observations faites il y a quelques années. On a introduit depuis dans les machines des modifications qui doivent faire varier les consommations de travail dynamique. On n'a présenté ici que des résultats approximatifs, destinés plutôt à donner une idée des consommations de travail, qu'à servir de base à des calculs aussi exacts qu'il serait possible. | | |
| **Filature de laine.** | | |
| Pour ouvrir et pour carder seulement la laine nécessaire à la fabrication d'un kilogramme de fil d'un numéro moyen entre 6 et 50 (le numéro indique ici le nombre d'écheveaux de 780 mètres dans un kilogramme) le moteur étant une machine à vapeur. . . . . | Travail résistant sur l'arbre du volant de la machine à vapeur . . . . . | 850 |
| Pour filer un kilogramme de fil trame, d'un numéro moyen entre 22 et 30, ce kilogramme étant le produit de 13 broches mull-jennys . . . . . | Travail résistant sur la première roue motrice des mull-jennys. . . . . | 17 |
| Pour filer un kilogramme de fil chaîne, d'un numéro moyen entre 22 et 30, ce kilogramme étant le produit de 17 broches mull-jennys . . . . . | *Idem*. . . . . | 23 |
| **Tir des projectiles.** | | |
| Pour lancer une balle pesant 0 kil. 0247, avec la vitesse ordinaire de 390 mètres par seconde, la consommation de poudre est de 0 kil. 0123. . . . . | Travail moteur sur le projectile. . . . . | 0,192 |
| Pour lancer un boulet pesant 6 kilogrammes avec la vitesse ordinaire de 417 mètres par seconde, avec une consommation de poudre de 2 kilog . . . . | *Idem*. . . . . | 53 |
| Pour lancer un boulet pesant 12 kilogrammes avec la vitesse maximum de 519 mètres par seconde, et une consommation de poudre de 6 kilog . . . . | *Idem*. . . . . | 164 |
| **Laminage du fer en barre.** | | |
| Pour fabriquer 100 kilogrammes de fer en barres de 0,03 à 0,04 de grosseur en carré, en laminant le fer rouge sortant du fourneau d'affinerie. . . . . | Travail résistant sur l'arbre de la route motrice des laminoirs. . . . . | 984 |

| NATURE ET QUANTITÉS des effets à produire. | Sur quelle partie de la machine on évalue le travail moteur et le travail résistant. | Travail dynamique exprimé en dynamodes ou 1000 kgm. |
|---|---|---|
| **Jeu des machines soufflantes à piston, pour les hauts fourneaux.** | | |
| Pour produire 3,000 kilogrammes de fonte par jour, dans un haut fourneau en chassant l'air par un orifice circulaire de 0,05 de diamètre, avec une conduite de 120 mètres de long et 0,15 de diamètre, la dépense d'air étant au *maximum* d'environ 15 mètres par minute. . . . . | Travail résistant sur le piston, non compris les frottements. | d 0, 446 par seconde |
| Pour chasser l'air suffisant pour produire 8,000 kilogrammes de fonte par jour, dans un haut fourneau au coke. . . . . | Travail résistant sur l'arbre du volant d'une machine à vapeur. . . . . | 2, 60 par seconde |
| NOTA. Le travail consommé varie comme le cube du volume d'air à chasser par seconde, y compris les pertes, et à peu près en raison inverse de la 4e puissance du diamètre de l'orifice de sortie. | | |
| **Jeu des machines soufflantes à piston, pour les feux d'affinerie, de martineteur, étireur et corroyeur** | | |
| Pour entretenir un feu d'affinerie en chassant 4 mètres d'air par minute, avec une vitesse de 80 mètres par seconde, les frottements dans les tuyaux pouvant être négligés . . . . . | Travail résistant sur le piston, non compris les frottements de toute espèce et les pertes d'air. . . . . | 0, 28 par seconde |
| Pour entretenir un feu de martineteur, étireur et corroyeur, en chassant moyennement 2,66 mètres cubes par minute, avec une vitesse de 62 mètres, les frottements dans les tuyaux pouvant être négligés. . . . . | *Idem* . . . . . | 0, 11 par seconde |

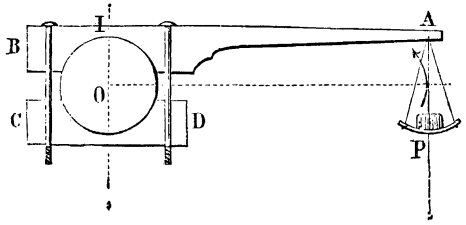
## MACHINES-OUTILS.

**Puissance motrice consommée dans les ateliers de construction de machines avec la transmission.**

| DÉSIGNATION DES OUTILS. | CHEVAUX d | CHEVAUX à |
|---|---|---|
| Par outil courant, en moyenne . . . . . | 0 25 | 0 35 |
| Gros alésoir à cylindres. . . . . | 1 50 | 3 00 |
| Gros tours à roues de wagon (forts copeaux). . . . . | 0 70 | 2 50 |
| Tours ordinaires, machines à planer, percer, buriner, cisailler, aléser (conditions moyennes). . . . . | 0 20 | 0 50 |

**Frein de Prony.** — Destiné à mesurer la puissance des moteurs. En principe, il se compose de pièces telles que AB, CD qui embrassent l'arbre O dont on veut mesurer le travail; ces pièces sont reliées entre elles par de forts boulons. Pour faire l'essai, on interrompt la communication de l'arbre moteur avec les organes qu'il mène, et, après divers tâtonnements, on trouve le poids P qui, placé dans le plateau suspendu en A, maintient le levier AB du frein en équilibre dans une position horizontale, en même temps que le frottement, déterminé par le serrage des boulons, laisse prendre à l'arbre précisément la vitesse uniforme de rotation qu'il acquiert pendant le travail normal de la machine. Au poids P s'ajoute une quantité $p$ due au poids du levier AB : c'est la

Fig. 18.




force verticale qui, appliquée en A de bas en haut, maintiendrait ce levier horizontal s'il était librement suspendu par le point I répondant à la verticale du centre O ; on détermine préalablement $p$ à l'aide d'une balance ou d'un fil flexible passant sur une poulie de renvoi. Appelons $l$ le bras de levier de la verticale du point A, par rapport au centre O, et $n$ le nombre de tours de l'arbre par minute. La force $P+p$ maintenue en équilibre en A, tendant à décrire, en une seconde, un chemin égal à

$$\frac{2\pi l n}{60},$$

l'expression du travail absorbé par les frottements est de

$$(P+p)\frac{2\pi l n}{60} \text{ kilogrammètres par seconde;}$$

la puissance motrice, qui répond à l'allure de l'arbre, est donc

$$(P+p)\frac{2\pi ln}{60\times 75}=\frac{(P+p)ln}{716}\text{ chevaux.}$$

Dans la pratique, le frein ne porte pas directement sur l'arbre, mais par l'intermédiaire d'une bague en fonte calée.

Il existe diverses variétés de frein et il est diverses précautions de détails à prendre dans la conduite de ces épreuves.

---

## DES FROTTEMENTS.

Le frottement est la résistance qu'un corps éprouve lorsqu'il *glisse* ou *roule* à la surface d'un autre corps. Ce genre particulier de résistance a été l'objet d'un assez grand nombre d'expériences depuis l'année 1700 jusqu'à nos jours (*Amontons*, *Bulfinger*, *Parent*, *Camus*, *Muschenbroek*, *Desaguliers*, *Bossut*, *Nollet*, *Fergusson*, *Perronet*, docteur *Vince*, *Coulomb*, *Rennie*, général *Morin*). On ne connaît à peu près l'énergie de cette résistance que pour quelques cas particuliers assez restreints; et quant aux *lois* générales qui la régissent, elles ne peuvent encore être considérées que comme des approximations convenant aux cas usuels et les plus propres à faciliter le calcul des machines. Voici ces *lois :*

1° *L'intensité du frottement est proportionnelle à la pression.*

Cette première loi a été proclamée par *Amontons* dès 1699, niée par *Muschenbroek* et par le docteur *Vince*. Admise par *Coulomb*, puis par M. *Morin*, les expériences de *Rennie* montrent au contraire que le quotient du frottement par la pression, ou ce qu'on appelle le *coefficient* du frottement, augmente à mesure que la pression augmente, tandis qu'il résulte avec non moins d'évidence des expériences très-précises de *Vince* que ce coefficient *diminue*, fait confirmé par la plus grandiose des expériences humaines, le lancement des vaisseaux.

2° *Le frottement ne dépend que de la nature des corps en contact et de celle de l'enduit.*

3° *Il est indépendant de l'étendue de la surface de contact.*

Cette troisième loi a été proclamée par *Amontons*, puis par M. *Morin*, niée par *Muschenbroek*, par le docteur *Vince* et par *Coulomb*, qui regardait le frottement comme dépendant de l'étendue des surfaces en contact, entre lesquelles, suivant ce consciencieux physicien, il se développait souvent une force d'*adhérence* dont les tableaux qui suivent donnent dans quel-

ques cas la valeur. D'après le docteur *Vince*, le frottement diminuerait avec l'étendue des surfaces en contact, pourvu que l'une des surfaces ne se réduise pas à une arête.

4° *Le frottement est indépendant de la vitesse du mouvement.* Cette loi est niée par *Muschenbroek* et partiellement admise par *Coulomb*.

Au milieu de ces indécisions, nous nous bornons à donner ici le résumé des coefficients du frottement que M. *Tom Richard* a recueillis et publiés dans son *Aide-mémoire des Ingénieurs*.

**Coefficient *f* du frottement sous des pressions continuellement croissantes jusqu'à ce que les surfaces en contact soient entamées, d'après G. Rennie.**

| PRESSIONS en kilogrammes par centimètre carré. | VALEURS DE *f* POUR | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fer sur fer. | Fer sur fonte. | Acier sur fonte, | Cuivre jaune ou laiton sur fonte. |
| k | | | | |
| 13,1220 | 0,250 | 0,275 | 0,300 | 0,225 |
| 15,7460 | 0,271 | 0,292 | 0,333 | 0,219 |
| 18,3700 | 0,285 | 0,321 | 0,340 | 0,214 |
| 20,9950 | 0,297 | 0,329 | 0,344 | 0,211 |
| 23,6200 | 0,312 | 0,333 | 0,347 | 0,215 |
| 26,2440 | 0,350 | 0,351 | 0,351 | 0,206 |
| 28,8688 | 0,376 | 0,353 | 0,353 | 0,205 |
| 31,4932 | 0,376 | 0,365 | 0,354 | 0,208 |
| 34,1176 | 0,395 | 0,366 | 0,356 | 0,221 |
| 36,7420 | 0,403 | 0,366 | 0,357 | 0,223 |
| 39,3664 | 0,409 | 0,367 | 0,358 | 0,233 |
| 41,9908 | » | 0,367 | 0,359 | 0,234 |
| 44,6152 | » | 0,367 | 0,367 | 0,235 |
| 47,2396 | » | 0,376 | 0,403 | 0,233 |
| 49,8640 | » | 0,434 | » | 0,234 |
| 52,4884 | » | » | » | 0,235 |
| 55,1128 | » | » | » | 0,232 |
| 87,7372 | » | » | » | 0,273 |

Les chiffres qui précèdent ayant été fournis par des expériences où le corps frottant n'a parcouru que de petits espaces, peuvent être considérés comme se rapportant au cas du frottement au départ et après un contact de quelque durée.

On voit ici, et bien avant que les surfaces se corrodent, l'intensité du frottement, *au départ*, croître de plus en plus à mesure que la pression augmente (contrairement à la première loi usuelle énoncée ci-dessus).

**Frottement de glissement des surfaces places après qu'elles ont été quelque temps en contact.**

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Briques sur calcaire oolithique | A plat, sans enduit . M (1). | 0, 67 | 33°50′ | |
| Briques sur muschelkalk. . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 67 | 33 50 | |
| Caisse en bois sur le pavé. . . | (Regnier). . . . . | 0, 58 | 30 7 | |
| Caisse en bois sur la terre battue. | (Herbert). . . . . | 0, 33 | 18 16 | |
| Chêne sur chêne. | Fibres parallèles. . . . . C. | 0, 44 | 23 45 | $f$ parvient au maximum au bout de quelques secondes. |
| | Fibres parallèles, et la surface réduite à des arêtes arrondies. . . . . C. | 0, 42 | 22 47 | $f$ parvient au maximum en quelques jours. L'adhérence produit une résistance d'environ 19 kil. par mèt carré dans le premier cas, et de 39 dans le dernier. |
| | Fibres croisées. . . . . C. | 0, 27 | 15 7 | |
| | Les surfaces garnies d'un enduit renouvelé à chaque expérience. . . . . C. | 0, 38 | 20 49 | |
| | Les mêmes, après un long user, en mettant du vieux oing. . . . . C. | 0, 21 | 11 52 | |
| | Fibres parallèles, sans enduit . . . . . M. | 0, 62 | 31 48 | |
| | Fibres parallèles, frottées de savon sec . . . . . M. | 0, 44 | 23 45 | |
| | Fibres perpendiculaires sans enduit . . . . . M. | 0, 54 | 28 22 | |
| | Fibres perpendiculaires mouillées d'eau . . . . M. | 0, 71 | 35 23 | |
| | Bois debout sur bois à plat, sans enduit. . . . M. | 0, 43 | 23 16 | |
| Nous remarquerons ici, avec *Coulomb* lui-même, que l'on exécute tous les jours dans nos ports une expérience qui prouve que sous des pressions normales et totales de plus de 2 millions de kilogrammes, des pentes de 0,0716 suffisent pour provoquer le départ et entretenir le mouvement d'un vaisseau de premier rang, circonstance d'où l'on peut conclure : | | | | |
| Chêne sur chêne. | Fibres parallèles enduites de suif. . . . . | 0, 0716 | 4 6 | |

(1) M. signifie que l'expérience est de M. *Morin*, et C., qu'elle est due à *Coulomb*.

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| et bien que le frottement soit considéré comme proportionnel à la pression, indépendant de la vitesse aussi bien que de l'étendue des surfaces de contact, une longue expérience a montré que la pente indiquée ci-dessus était trop faible lorsque la masse à lancer était moins grande, et qu'elle devait être augmentée comme suit : | | | | |
| Chêne sur chêne. | Fibres parallèles enduites de suif; vaisseaux de 2e rang et frégates de 1er rang; poids moyen lège, 1500,000 kil. . . . . | 0, 0836 | 4°47′ | |
| | Navires au-dessous des frégates, poids moyen lège, 4 à 500,000 kil. . . . . | 0, 100 | 54 5 | |
| | Chalands et chaloupes, poids lège, environ 200,000 kil | 0. 168 | 9 35 | |
| Chêne sur orme. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Chêne sur sapin. | Fibres parallèles. . . . . C | 0, 67 | 33 50 | $f$ atteint son maximum au bout de quelques secondes. |
| Chêne sur pierre calcaire oolithique. . . . . | Bois debout sans enduit. M | 0, 63 | 32 13 | |
| Chêne sur muschelkalk . . . . . | Bois debout sans enduit. M. | 0, 64 | 32 38 | |
| Corde de chanvre sur chêne. . . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 80 | 38 40 | |
| Courroies en cuir noir corroyé. . . | Sur surface plane en chêne; fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 74 | 36 30 | |
| | Sur tambour en chêne; fibres perpendiculaires sans enduit. . . . . M. | 0, 47 | 25 11 | |
| | Sur poulie en fonte, à plat, sans enduit. . . . . M. | 0, 28 | 15 39 | |
| | Sur poulie en fonte, à plat, mouillée d'eau . . . . . M | 0, 38 | 20 49 | |
| Cuir tanné sur chêne . . . . . | Le cuir à plat sans enduit M. | 0, 61 | 31 23 | |
| | Le cuir de champ sans enduit. . . . . M. | 0, 43 | 23 16 | |
| | Le cuir de champ mouillé d'eau. . . . . M. | 0, 79 | 38 19 | |
| Cuir de bœuf pour garniture de piston. . . . . | A plat, ou de champ, mouillé d'eau. . . . . M. | 0, 62 | 31 48 | |
| | A plat, ou de champ, avec huile, suif ou saindoux M | 0, 12 | 6 51 | |
| Cuivre sur chêne. | . . . . . C | 0, 18 | 10 12 | Il n'est pas certain que $f$ eût atteint son maximum. |
| Cuivre jaune sur chêne. . . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 62 | 31 48 | |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Cuivre sur fer. | . . . . . C. | 0, 26 | 14°35′ | $f$ atteint son maximum en quelques secondes. |
| | La surface réduite à des pointes émoussées. . . C | 0, 17 | 9 38 | |
| | Les surfaces garnies d'un enduit de suif neuf. . C. | 0, 11 | 6 17 | $f$ atteint son maximum en quelques heures. La résistance de l'adhérence est d'environ 7 k. par mètre carré. |
| | Les surfaces garnies d'huile C | 0, 17 | 9 38 | |
| | Les surfaces garnies de vieux oing. . . . . C | 0, 14 | 7 58 | |
| | . . . . . C. | 0, 20 | 11 19 | Il n'est pas certain que $f$ eût atteint son maximum. |
| Fer sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M | 0, 62 | 31 48 | |
| | Fibres parallèles mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 65 | 33 2 | |
| Fer sur fer. | . . . . . C | 0, 28 | 15 39 | $f$ atteint son maximum en quelques secondes. |
| Fer sur fonte | Sans enduit. . . . . M | 0, 19 | 10 46 | |
| Fer sur calcaire oolithique. | Sans enduit . . . . . M | 0, 49 | 26 7 | |
| Fer sur muschelkalk | Sans enduit . . . . . M | 0, 42 | 22 47 | |
| Fonte sur fonte | Surfaces très-peu onctueuses. . . . . M. | 0, 16 | 9 6 | |
| Fonte sur chêne. | Mouillée d'eau. . . . . M | 0, 65 | 33 2 | |
| Frêne sur chêne | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 53 | 27 56 | |
| Granit poli sur granit brut. | . . . . . (Rennie) | 0, 66 | 33 26 | |
| Grès uni sur grès uni. | Avec mortier frais *idem.* | 0, 49 | 26 7 | |
| | . . . . . *idem.* | 0, 71 | 35 23 | |
| | Avec mortier frais *idem.* | 0, 66 | 33 26 | |
| Hêtre sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M | 0, 53 | 27 56 | |
| Nattes de chanvre sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 50 | 26 34 | |
| | Fibres parallèles mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 87 | 41 2 | |
| Orme sur orme. | Fibres parallèles. . . . . C | 0, 46 | 24 42 | $f$ atteint son maximum en quelques secondes. |
| Orme sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 69 | 34 37 | |
| | Fibres parallèles avec savon sec . . . . . M | 0, 41 | 22 18 | |
| | Fibres perpendiculaires sans enduit. . . . . M. | 0, 57 | 29 41 | |
| Pierre de liais (calcaire à grain fin), polie sur pierre de liais polie. | . . . . . (Rondelet) | 0, 58 | 30 7 | |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|
| Pierre de Château-Landon calcaire dur, bouchardé sur calcaire, dur bouchardé. . . . . | . . . . . (Boistard). | 0, 78 | 37°58′ | |
| Pierre de libage sur lit d'argile sèche. . . . . | . . . . . (Lesbros). | 0, 51 | 27 2 | |
| Pierre de libage sur argile humide et ramollie. . | . . . . . *idem.* | 0, 34 | 18 47 | |
| Pierre de libage sur argile humide reconverte de grosse grève | . . . . . *idem.* | 0, 40 | 21 48 | |
| Pierre calcaire oolithique sur calcaire oolithique. . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 74 | 36 30 | Après un quart d'heure de contact. |
| | Avec mortier de 3 sable fin + 1 chaux hydraulique . . . . . M. | 0, 74 | 36 30 | |
| Pierre calcaire oolithique sur muschekalk. . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 75 | 36 52 | |
| Pierre calcaire dure, dite muschekalk sur calcaire oolithique. | Sans enduit . . . . . M. | 0, 75 | 36 52 | |
| Pierre calcaire dure sur muschekalk . . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 70 | 35 0 | |
| Sapin sur sapin. | Fibres parallèles. . . . . C | 0, 56 | 29 15 | $f$ atteint son maximum en quelques secondes . . . . . |
| Sapin sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 53 | 27 56 | |
| Sorbier sur chêne | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M | 0, 53 | 27 56 | |
| Chêne, charme, orme, fer, fonte, bronze, glissant deux à deux l'un sur l'autre. . . . | Surfaces enduites de suif, et lorsque le contact n'a pas duré assez longtemps pour exprimer l'enduit M | 0, 10 | 6 0 | |
| | Enduites d'huile ou de saindoux, quand le contact a duré assez longtemps pour exprimer l'enduit et ramener les surfaces à l'état onctueux. M | 0, 15 | 8 32 | |

**Frottement de glissement des surfaces planes pendant le mouvement.**

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Acier sur acier. | Enduites de suif, saindoux, huile, cambouis . . . . M. | 0, 08 | 4°35′ | |
| | Surfaces un peu onctueuses. . . . . M. | 0, 15 | 8 32 | |
| | L'enduit étant sans cesse renouvelé. . . . . M. | 0, 05 | 2 52 | |
| Acier poli sur la glace. . . . . | Sous des pressions par mètre carré de 5,000 k. . . | 0, 04 | 2 18 | |
| | de 20,000 . . . | 0, 03 | 1 43 | |
| | de 180,000 . . . | 0, 014 | 0 48 | |
| | (Ce frottement, d'après Rennie, diminue quand la pression augmente) | | | |
| Benne sur le sol d'une galerie de mine. . . . . | . . . . . (Gervoy) de | 0, 27 | 15 7 | |
| | . . . . . à | 0, 41 | 22 18 | |
| | . . . . . habituellement | 0, 32 | 17 45 | |
| Brique sur calcaire oolithique | Sans enduit. . . . . M. | 0, 65 | 33 2 | |
| Brique sur muschekalk . . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 60 | 30 58 | |
| Bronze sur bronze | Sans enduit . . . . . M. | 0, 20 | 11 19 | |
| Bronze sur fer. . | Les surfaces un peu onctueuses . . . . . M. | 0, 16 | 9 6 | |
| Bronze sur fonte. | Sans enduit . . . . . M. | 0, 22 | 12 25 | |
| Chauvre en brins ou en corde sur chêne . . . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 52 | 27 29 | |
| | Fibres perpendiculaires mouillées d'eau . . . . M. | 0, 33 | 18 16 | |
| | Au maximum, d'après M. Lebas, dans les circonstances les plus défavorables . . . . . | 0, 222 | 12 31 | |
| Chêne sur chêne. | Fibres parallèles . . . . C. | 0, 11 | 6 17 | |
| | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 48 | 25 39 | |
| | Les surfaces réduites à des arêtes arrondies . . . . C. | 0, 08 | 4 35 | |
| | Fibres parallèles frottement de savon sec. . . . . M. | 0, 16 | 9 6 | |
| | Fibres parallèles enduites de suif ou de vieux oing renouvelé à chaque essai. C. | 0, 035 | 2 0 | L'adhérence occasionne une résistance d'environ 30 k. par mètre carré. |
| | La surface réduite à ses arêtes arrondies avec l'enduit, ou l'enduit essuyé, et les surfaces restant onctueuses . . . . . | 0, 06 | 3 96 | |
| | Fibres perpendiculaires et sans enduit. . . . . M. | 0, 34 | 18 47 | |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Chêne sur chêne. | Fibres perpendiculaires et mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 25 | 14° 3′ | |
| | Bois debout sur bois à plat, sans enduit. . . . M. | 0, 19 | 10 46 | |
| | Fibres croisées. . . . . C. | 0, 10 | 5 43 | |
| | Et la surface réduite à des arêtes arrondies. . . . . C. | 0, 10 | 5 43 | |
| Chêne sur calcaire oolithique. | Bois debout sans enduit. M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Chêne sur muschelkalk . . . . . | Bois debout sans enduit. M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Chêne sur fer. . | Fibres parallèles, la vitesse étant très-petite. . . . . C. | 0, 08 | 4 35 | |
| | A la vitesse de 0m30 par seconde. . . . . C. | 0, 17 | 9 39 | |
| | Les surfaces étant très-petites, sans enduit, mais onctueuses. . . . . C. | 0, 07 | 4 0 | |
| Chêne sur fonte. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Chêne sur sapin. | Fibres parallèles. . . . . C. | 0, 16 | 9 6 | |
| Cuir noir corroyé sur chêne. . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 27 | 15 7 | |
| Cuir tanné sur chêne. . . . . | A plat, ou de champ, sans enduit . . . . . M. | 0, 30 | 16 42 | |
| | . . . . . à. | 0, 35 | 19 18 | |
| | A plat, ou de champ, mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 29 | 16 11 | |
| | A plat, ou de champ, sans enduit. . . . . M. | 0, 56 | 29 15 | |
| Cuir tanné sur fonte et sur bronze. . . . . | A plat, ou de champ, mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 36 | 19 48 | |
| | A plat, ou de champ, onctueuses et mouillées d'eau M. | 0, 23 | 12 58 | |
| | A plat, ou de champ, enduites d'huile. . . . . M. | 0, 15 | 8 32 | |
| | . . . . . C. | 0, 24 | 13 30 | |
| | Après un long user . . . C. | 0, 17 | 9 39 | |
| Cuivre sur fer. . | Avec enduit de suif renouvelé. . . . . C. | 0, 10 | 5 43 | L'adhérence produit une résistance d'environ 7 kil. par mètre carré. |
| | Avec de l'huile sur un ancien enduit de suif. . . C. | 0, 12 | 6 51 | Adhérence à peu près nulle. |
| | La surface réduite à ses pointes émoussées restant onctueuses ou enduites de suif et d'huile. . . , . . . . | 0, 12 | 6 51 | |
| Cuivre jaune sur chêne. . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 62 | 31 48 | |
| Fer sur chêne . | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. | 0, 62 | 31 48 | |
| | Fibres parallèles mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 26 | 14 35 | |
| | Fibres parallèles frottées de savon sec . . . . . M | 0, 21 | 11 52 | |
| Fer sur fer. . . . | . . . . . C. | 0, 28 | 16 39 | $f$ diminue par un long user. |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Fer sur fer. . . . | Fibres parallèles d'après M. Morin, les surfaces se rodent dès qu'il n'y a pas d'enduit . . . . . | | | |
| | Avec enduit de suif renouvelé. . . . . C. | 0, 10 | 5° 43' | L'adhérence produit une résistance d'environ 14 kil. par mètre carré. . |
| Fer sur fonte et sur bronze. . . . | Fibres parallèles sans enduit, un peu onctueuses M. | 0, 18 | 10 13 | |
| Fer sur calcaire oolithique . . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 69 | 34 37 | |
| Fer sur muschelkalk.. . . . . | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 24 | 13 30 | |
| | Fibres parallèles mouillées d'eau. . . . . M. | 0, 30 | 16 42 | |
| Fer sur orme. . . | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. | 0, 25 | 14 3 | |
| Fonte sur fonte et sur bronze. . | Fibres parallèles sans enduit, un peu onctueuses. M. | 0, 15 | 8 32 | |
| Fonte sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 49 | 26 7 | |
| | Fibres parallèles mouillées d'eau . . . . . M. | 0, 22 | 12 25 | |
| | Fibres parallèles frottées de savon sec . . . . . M. | 0, 19 | 10 46 | |
| Fonte sur orme.. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 20 | 11 19 | |
| Frêne sur chêne | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. de | 0, 36 | 19 48 | |
| | . . . . . à | 0, 40 | 21 49 | |
| La glace sur la glace. . . . . | Sous une pression par mètre carré de 1,500 kil. . . . | 0, 03 | 1 43 | Rennie. — Ce frottement diminue quand la pression augmente. |
| | Sous une pression par mètre carré de 6,000 kil. . . | 0, 02 | 1 9 | |
| Hêtre sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. de | 0, 36 | 19 48 | |
| | . . . . . à | 0, 40 | 21 49 | |
| Orme sur orme. | . . . . . C. | 0, 10 | 5 43 | |
| Orme sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. | 0, 43 | 23 17 | |
| | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 25 | 14 3 | |
| | Fibres perpendiculaires sans enduit. . . . . M. | 0, 45 | 24 14 | |
| Orme sur fonte. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Poirier sur chêne | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. de | 0, 36 | 19 48 | |
| | . . . . . à. | 0, 40 | 21 49 | |
| Poirier sur fonte. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. | 0, 44 | 23 45 | |
| Pierre calcaire oolithique sur pierre calcaire oolithique . . . . | Sans enduit . . . . . M. | 0, 64 | 32 37 | |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Pierre calcaire sur muschelkalk | Sans enduit . . . . . M. | 0, 65 | 33 2 | |
| Pierre calcaire, dite muschelkalk, sur muschelkalk | *Idem.* . . . . . M. | 0, 38 | 20 49 | |
| Muschelkalk sur calc. oolithique. | *Idem.* . . . . . M. | 0, 67 | 33 50 | |
| Sapin sur sapin. | . . . . . C. | 0, 17 | 9 39 | |
| Sapin sur chêne. | Fibres parallèles sans enduit . . . . . M. de | 0, 36 | 19 48 | |
| | . . . . . à | 0, 40 | 21 49 | |
| Sorbier sur chêne | Fibres parallèles sans enduit. . . . . M. de | 0, 36 | 19 48 | |
| | . . . . . à | 0, 40 | 21 49 | |
| Chêne, charme, orme, poirier, fonte, fer, acier, brouze, glissant l'un sur l'autre ou sur eux-mêmes. . . . . | Lubriflées à la manière ordinaire avec enduit de suif, saindoux, huile, cambouis, etc. . . . . M. de | 0, 07 | 4 1 | |
| | . . . . . à | 0, 08 | 4 35 | |
| | L'enduit étant sans cesse renouvelé et uniformément réparti, $f$ peut s'abaisser à . . . . . | 0, 05 | 2 52 | |
| | Légèrement onctueuses au toucher . . . . . M. | 0, 15 | 8 32 | |

**Frottement des axes ou tourillons en mouvement dans leurs boîtes ou sur leurs coussinets.**

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement. |
|---|---|---|---|
| Tourillons en bronze sur coussinets en bronze. . . | Avec enduit d'huile renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. | 0, 10 | 5° 43′ |
| | Avec enduit de suif renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. | 0, 093 | 5 19 |
| Tourillons en bronze sur coussinets en fonte. . . | Enduit d'huile continuellement renouvelé. . . . . M. | 0, 052 | 2 58 |
| | Enduit de suif continuellement renouvelé . . . . . M. | 0, 045 | 2 34 |
| Axe de buis dans une boîte de gayac. . . . . | Enduit de suif. . . . . C. | 0, 043 | 2 28 |
| | L'enduit essuyé, et les surfaces restant onctueuses. . . . . C. | 0, 07 | 4 0 |
| Axe de buis dans une boîte d'orme. . . . . | Enduit de suif. . . . . C. | 0, 035 | 2 0 |
| | L'enduit essuyé, et les surfaces restant onctueuses. . . . . C. | 0, 05 | 2 52 |
| Axe de chêne vert dans une boîte de gayac. . . | Enduit de suif. . . . . C. | 0, 038 | 2 10 |
| | L'enduit essuyé, et les surfaces seulement onctueuses. . . . . C. | 0, 06 | 3 26 |
| Axe de chêne vert dans une boîte d'orme. . . . | Après avoir servi longtemps sans qu'on eût rafraîchi l'enduit. C. | 0, 07 | 4 0 |
| | Enduit de suif. . . . . C. | 0, 03 | 1 43 |
| | L'enduit essuyé, et les surfaces onctueuses . . . . . C. | 0, 05 | 2 52 |
| | . . . . . C. | 0, 155 | 8 48 |
| Axe de fer dans une boîte en cuivre. . . . . | Avec enduit de suif. . . . . C. | 0, 085 | 4 51 |
| | Enduit de vieux oing . . . . . C. | 0, 12 | 6 50 |
| | Les surfaces pénétrées par le suif, et restant onctueuses. . C. | 0, 127 | 7 14 |
| | Enduit d'huile. . . . . C. | 0, 13 | 7 24 |
| | Enduit qui n'avait pas été renouvelé depuis longtemps, quoique la machine eût servi continuellement. . . . . C. | 0, 133 | 7 34 |
| Tourillons en fer sur coussinets en bronze. . | Enduit d'huile, de saindoux ou de suif, l'enduit étant sans cesse renouvelé . . . . . M. | 0, 054 | 3 6 |
| | Enduit d'huile, de saindoux ou de suif, l'enduit étant sans cesse renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. de | 0, 07 | 4 0 |
| | . . . . . à | 0, 08 | 4 35 |
| | Enduit de saindoux et de plombagine, qui n'est pas sans cesse renouvelé . . . . . M | 0, 111 | 6 20 |
| | Enduit de cambouis un peu dur, ou d'asphalte. . . . . M. | 0, 09 | 5 9 |
| | Les surfaces onctueuses, mais mouillées d'eau, cas auquel elles commencent à se roder . . . M. | 0, 189 | 10 42 |
| Tourillons en fer sur coussinets en fonte. . | Enduit d'huile, de saindoux ou de suif, sans cesse renouvelé. M. | 0, 054 | 3 6 |
| | Enduit d'huile, de saindoux ou de suif, renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. de | 0, 07 | 4 0 |
| | . . . . . à | 0' 08 | 4 35 |
| Tourillons en fer sur coussinets en gayac. . | Les enduits renouvelés à la manière ordinaire, enduit d'huile. M. | 0, 114 | 6 30 |

| INDICATION des surfaces de contact. | ÉTAT des surfaces. | $f$ | ANGLE du frottement. |
|---|---|---|---|
| Tourillons en fer sur coussinets en gayac. | Surfaces enduites de saindoux. M. | 0, 135 | 7 41 |
| | Les surfaces onctueuses. . . . M. | 0, 188 | 10 39 |
| | Enduit d'huile, de saindoux, de suif sans cesse renouvelé. M. | 0, 054 | 3 6 |
| | Enduit d'huile renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. de | 0, 07 | 4 |
| | . . . . . à | 0, 08 | 4 35 |
| | Enduit d'huile et mouillées d'eau . . . . . M. | 0, 079 | 4 31 |
| Tourillons en fonte sur coussinets en fonte. . . | Enduit d'asphalte. . . . . M. | 0, 054 | 3 6 |
| | Surfaces onctueuses . . . . . M | 0, 137 | 7 48 |
| | Onctueuses et mouillées d'eau. M. | 0, 137 | 7 48 |
| | Très-onctueuses, ou avec enduit renouvelé à la manière ordinaire . . . . . M. | 0, 073 | 4 11 |
| | Très-onctueuses et mouillées d'eau . . . . . M | 0, 073 | 4 11 |
| Tourillons en fonte sur coussinets en bronze. . | Enduit d'huile, de saindoux, de suif sans cesse renouvelé. M | 0, 054 | 3 6 |
| | Enduit d'huile, renouvelé à la manière ordinaire. . . . . M. de | 0, 07 | 4 |
| | . . . . . à | 0, 08 | 4 35 |
| | Enduit de cambouis mou . M. | | |
| | Surfaces onctueuses. . . . . M. | 0, 065 | 3 44 |
| | Très-peu onctueuses, cas auquel les surfaces commencent à se roder. . . . . M. | 0, 166 | 9 26 |
| | Onctueuses et mouillées d'eau. M. | 0, 194 | 10 59 |
| | Onctueuses d'asphalte. . . . . M. | 0, 161 | 9 9 |
| | Onctueuses d'asphalte et mouillées d'eau . . . . . M. | 0, 091 | 5 12 |
| Tourillons en fonte sur coussinets en gayac. . | Sans enduit. . . . . M. | 0, 086 | 4 57 |
| | Enduit d'huile, de suif continuellement renouvelé . . . . M. | 0, 185 | 10 29 |
| | Enduit de saindoux et de plombagine. . . . . M. | 0, 092 | 5 16 |
| | Surfaces onctueuses après enduit d'huile . . . . . M. | 0, 109 | 6 13 |
| | Onctueuses après enduit de saindoux et de plombagine . . . M. | 0, 100 | 5 43 |
| Tourillons en gayac sur coussinets en fonte. . . | Enduit de saindoux . . . . . M. | 0, 143 | 8 8 |
| | Surfaces onctueuses. . . . . M. | 0, 116 | 6 37 |
| Tourillons en gayac sur coussinets en gayac. . | Enduit de saindoux, continuellement renouvelé. . . . . M. | 0, 153 | 8 42 |
| | | 0, 07 | 4 35 |

### FROTTEMENT DES PISTONS DANS LES CORPS DE POMPE.

Nous ne connaissons d'autres expériences directes que celles que *d'Aubuisson* nous a transmises d'après les auteurs allemands. Il en résulte que la résistance en kilogrammes R, due au frottement, dépend surtout du degré de poli du corps de pompe, et que, quelle que soit la garniture du piston, cette résistance est le produit du diamètre D, par la charge d'eau H, multiplié par un coefficient $m$,

$$R = D H m$$

$m$ prend les valeurs suivantes, savoir :

| | |
|---|---|
| Pour les corps en laiton bien poli. . . . . | kil. |
| Fonte simplement forée. . . . . | |
| Bois assez lisse. . . . . | 25 |
| Bois degradé par l'usage. . . . . | 50 |

### FROTTEMENT DE ROULEMENT.

Des observations peu nombreuses de *Coulomb* avaient montré que :

1° La résistance au roulement est proportionnelle à la pression et en raison inverse du rayon des rouleaux.

M. Morin a confirmé ces résultats et a établi en outre que :

2° A poids et à diamètres égaux, la résistance au roulement augmente quand la largeur de contact des rouleaux diminue, lorsque le roulement s'opère sur des corps compressibles.

Soient donc :

F l'effort directement appliqué à l'essieu d'un rouleau et qui suffit à vaincre la résistance que la circonférence du rouleau éprouve de la part du plan horizontal sur lequel elle se développe ;

R le rayon de ce rouleau ;

W son poids et celui de la charge portée sur son essieu, essieu dont on néglige ici le frottement propre :

A un coefficient constant dépendant de la nature du rouleau et de celui du plan, et qui exprime pour ce rouleau et ce plan la résistance relative à une pression de 1 kilog. et à un rayon de 1 mètre,

On a $$F = A \frac{W}{R}$$

Voici diverses valeurs de A, calculées par M. *Poncelet* d'après les observations qu'il a recueillies :

*Roues de voitures, garnies de bandes de fer, roulant sur une chaussée horizontale,*

| | |
|---|---|
| En sable ou cailloutis nouvellement placés. . . . . | 0,0634 |
| En empierrements, à l'état ordinaire d'entretien. . . | 0,0414 |
| Pavée dans le même état. } vitesse de | 0,0238 |
| Pavée en carreaux. . . . . } 0m,8 à 1m par seconde. | 0,0185 |
| En terre ferme et unie. . . . . | 0,0185 |
| En empierrement et aussi parfaitement roulante que les routes anglaises. . . . . | 0,0150 |
| En madriers de chêne bruts. . . . . | 0,0102 |

*Roues en fonte sur ornières en fer horizontales,*

| | |
|---|---|
| Plates et dans l'état habituel. . . . . | 0,0035 |
| Étroites et saillantes, dans l'état habituel. . . . . | 0,0012 |
| Étroites et saillantes, parfaitement entretenues et époussetées. . . . . | 0,0007 |
| *Rouleaux*, en bois d'*orme* ou de *chêne*, sur un pavé uni. . . . . | 0,0074 |
| *Rouleaux d'orme* sur un sol horizontal en bois de chêne. . . . . | 0,0016 |
| *Rouleaux de gayac* sur un sol horizontal en bois de chêne. . . . . | 0,0001 |

## TIRAGE DES VOITURES.

La résistance qu'offre un véhicule, au tirage, comprend : le roulement proprement dit des roues sur la voie, le frottement des fusées ou tourillons, le frottement du mécanisme, les réactions des chocs et cahots, enfin la résistance de l'air et du vent dans le cas des grandes vitesses; elle est, en somme, proportionnelle au poids du véhicule, suivant les rapports contenus au tableau ci-après; proportionnelle aussi au diamètre des fusées et en raison inverse du diamètre des roues, d'après les dernières expériences de MM. Morin, Sauvage et Poirée sur les chemins de fer. Le nombre des roues est sans influence

à égalité de poids du véhicule. La résistance est indépendante de la vitesse jusqu'à 12 kilomètres à l'heure ; au delà, la réaction des chocs et cahots augmente beaucoup la résistance. La largeur des jantes facilite le tirage sur les chemins mous ; sur les routes solides elle est sans influence. L'ordonnance qui la limitait est abolie en France.

**Rapports de la force de tirage sur diverses routes à la charge totale traînée (voiture comprise).**

Résultats des expériences de MM. Boulard, Rumford, Régnier, etc.

| NATURE DE LA VOIE SUPPOSÉE HORIZONTALE. | RAPPORT du tirage à la charge totale. |
|---|---|
| Terrain naturel, non battu et argileux, mais sec | 0,250 |
| — — siliceux et crayeux | 0,165 |
| Terrain ferme, battu et très-uni | 0,040 |
| Chaussée en sable ou cailloutis nouvellement placés | 0,125 |
| — en empierrement, à l'état d'entretien ordinaire | 0,080 |
| — — parfaitement entretenue et roulante | 0,033 |
| Chaussée pavée à la manière ordinaire, et la voiture étant suspendue : au pas | 0,040 |
| au grand trot | 0,070 |
| Chaussée pavée en carreaux de grès bien entretenus : au pas | 0,025 |
| au grand trot | 0,060 |
| Chaussée en madriers de chêne non rabotés | 0,022 |
| Chemins à ornières plates, en fonte de fer, ou en dalles très-dures et très-unies | 0,010 |
| Chemins de fer à ornières saillantes, en bon état d'entretien | 0,007 |
| — — parfaitement entretenues, et les essieux continuellement huilés | 0,005 |

Le poids de la voiture varie ordinairement entre le 1/3 et le 1/4 de la charge totale.

## MATIÈRES A LUBRIFIER LES ARTICULATIONS DES MACHINES.

(Voir : J. Gaudry, *Traité des machines à vapeur.*)

Les huiles employées sont : d'abord l'huile de pied de bœuf, qui ne se trouve plus guère dans le commerce que de nom et qui est très-chère.

Les huiles végétales non acides, grasses et non siccatives, et spécialement l'huile de colza, sont d'un emploi très-répandu. Cette huile avec addition de caoutchouc dissous est surtout recommandée.

Le suif est préférable pour les gros frottements, surtout avec addition de plombagine (graisse noire).

L'eau pure est un mauvais lubrifiant; l'eau de savon convient au contraire très bien.

## Alliages anti friction.

| NOMS DES ALLIAGES | Cuivre | Etain | Plomb | Zinc | Antimoine | Fer | Phosphore |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Camélia métal | 70.20 | 4.25 | 14.75 | 10.20 | » | 0 55 | « |
| Métal anti-friction | 1.60 | 98.13 | » | » | » | traces | » |
| Métal blanc | » | » | 87.92 | » | 12.08 | » | » |
| Métal servant pour recouvrir les pièces de bronze | » | traces | 84.87 | » | 15.10 | » | » |
| Anti-friction de Salger | 4.01 | 9.91 | 1.15 | 85.57 | » | » | » |
| Métal au graphite | » | 14.38 | 67.73 | » | 16.73 | non losé | » |
| Antimoniure de plomb | » | » | 80.69 | | 18 83 | » | » |
| Bronze au carbone | 75.47 | 9.72 | 14.57 | » | » | » | » |
| Cornish bronze | 77.83 | 9 60 | 12.40 | traces | » | traces | » |
| Métal Delta | 92.39 | 2.37 | 5.10 | » | » | 0.07 | « |
| Métal Magnolia | » | » | 83.55 | traces | 16.45 | traces | » |
| Anti-friction américain | » | » | 78.44 | 0.90 | 19.60 | 0.65 | » |
| Bronze Tobin | 59.00 | 2.16 | 0 31 | 38 40 | » | 0.11 | » |
| Bronze Graney | 75.80 | 9.20 | 15.06 | » | » | » | » |
| Bronze Damascus | 76.41 | 10.60 | 12 52 | » | » | » | » |
| Bronze au tungstène | 90 52 | 9.58 | » | » | » | » | » |
| Métal Ajax | 81.24 | 10.98 | 7 27 | » | » | » | 0.37 |
| Anti-friction | » | » | 88.32 | » | 11.93 | » | » |
| Bronze Harrington | 55.73 | 0.97 | » | 42.67 | » | 0.68 | » |
| Car-box métal | » | » | 84 33 | traces | 14.38 | 0.61 | » |
| Plomb dur | » | » | 94.40 | » | 6.03 | » | » |
| Bronze phosphoreux | 79.17 | 10.22 | 9.61 | » | » | » | 0.94 |
| Ex. B. métal | 76.89 | 8.00 | 15 00 | » | » | » | 0.20 |
| Métal américain | 77 | 8 | 15 | » | » | » | 0.33 |
| Métal Babbit | 3.7 | 88.9 | » | » | 7.4 | » | » |
| Métal anti-friction | 10 | 80 | » | » | 20 | » | » |

## Alliages de friction et mastics pour joints.

(Voir : ORTOLAN *Traité des machines à vapeur marines*, et J. GAUDRY, *Traité des machines à vapeur*.)

### ALLIAGES DE FRICTION.

| DÉSIGNATION DES ALLIAGES. | COMPOSITION. CUIVRE. | ÉTAIN. | ZINC. | ANTIMOINE. | PLOMB. |
|---|---|---|---|---|---|
| Bronze pour coussinets ordinaires. | 82, 00 | 18, 00 | » | » | » |
| Bronze pour machines à vapeur. . . | 84, 00 | 16, 00 | 1, 00 | » | » |
| Alliage blanc dit *anti-friction* pour coussinets. . . . . | 2, 00 | 90, 00 | » | 8, 00 | » |
| Alliage blanc dit *anti-friction* pour coussinets. . . . . | 6, 00 | 90, 00 | 30, 00 | » | » |
| Alliage blanc dit *anti-friction* pour coussinets. . . . . | 1, 80 | 89, 30 | » | 8, 90 | » |
| Laiton ordinaire. . . . . | 66, 00 | » | 34, 00 | » | » |
| Laiton pour tubes de chaudières tubulaires. . . . . | 90, 00 | » | 10, 00 | » | » |
| Bronze pour canons. . . . . | 91, 00 | 9, 00 | » | » | » |
| Bronze pour canons. . . . . | 100, 00 | 11, 00 | » | » | » |
| Métal pour doublage de navires. . . | 55, 00 | 45, 00 | 1, 00 | » | » |
| Métal pour doublage de navires. . . | 45, 00 | 55, 00 | 1, 00 | » | » |
| Alliage gris pour pièces exposées à des chocs. . . . . | 83, 00 | 15, 00 | 1, 50 | » | 1, 50 |
| Alliage pour sifflet aigu . . . . . | 80, 00 | 18, 00 | » | 2 | » |
| Alliage pour sifflet plus grave. . . | 81, 00 | 17, 00 | » | 2 | » |

### MASTICS POUR JOINTS

| | |
|---|---|
| Mastic de fonte pour joints secs. . . . . | Tournure de fonte grise. 1,000 g.<br>Fleur de soufre . . . . . 160<br>Sel ammoniac . . . . . 10<br>Eau-de-vie pour former une pâte légèrement épaisse. |
| Mastic au minium pour joints de cuivre, porte de regard, etc . . . . . | Minium en poudre . . . 1 kil.<br>Blanc de céruse en pâte. 1<br>(En former une pâte qui ne s'attache pas aux doigts). |
| Mastic au blanc de zinc remplaçant le mastic au minium. | Zinc. . . . . 1 kil.<br>Huile de lin à former une pâte assez consistante. |
| Mastic Serbat remplaçant le mastic au minium. (Sèche un peu moins lentement. Se vend tout préparé). . . . . | parties.<br>Sulfure de plomb calciné . 72<br>Peroxyde de manganèse. . 54<br>Huile de lin . . . . . 13 |
| Mastic de chaux pour joints grossiers non exposés à la chaleur . . . . . | Blanc d'Espagne ou de chaux broyé avec de l'huile de lin et du chanvre haché en menus morceaux. |

**Valeurs de $f$ dans le cas où le lien flexible embrasse *une* seule demi circonférence du cylindre fixe ($\alpha = \pi$).**

| | | $f$ |
|---|---|---|
| Cylindre en sapin et corde flexible. | D'après Olinthus Gregory. | 0,322 |
| Cylindre en frêne et corde flexible. | D'après B. Bevan. . . . . | 0,221 |
| Même cylindre et corde très-flexible. . . . . | *Id.* . . . . . | 0,292 |
| Cylindre en verre de 0m,024 diamètre, et corde très-flexible. . | *Id.* . . . . . | 0,129 |
| Même corde et cylindre en verre de 0m,10 diamètre. . . . . | *Id.* . . . . . | 0,178 |
| Cylindre en verre de 0m,024 diamètre, corde neuve et roide. . | *Id.* . . . . . | 0,129 |
| Cylindre de bois tendre et mou, corde ordinaire.. . . . . | Des expériences spéciales de M. l'ingénieur *Lebas*, lui ont montré que pour ce cas, $f$ dans les circonstances les plus défavorables ne dépassait pas. . . . . | 0,220 |
| Cylindre en fonte, brut de fonderie, corde très-flexible. . . . . | B. Bevan. . . . . | 0,570 |
| Cylindre en fonte tourné, mais non poli, corde très-flexible . . | *Id.* . . . . . | 0,258 |
| Le même cylindre et corde neuve et roide.. . . . . | *Id.* . . . . . | 0,221 |
| Cylindre en fonte, courroie en cuir corroyé. . . . . | M. Morin, $f$ varie entre. . et. . . . | 0,238<br>0,336 |
| Cylindre en fonte et courroie en cuir corroyé mouillé d'eau. . . | M. Morin, $f$ varie entre. . et. . . . Et paraît augmenter avec la tension. | 0,317<br>0,458 |
| Cylindre en chêne et courroie sèche en cuir corroyé, peu onctueuse.. . . . . | M. Morin, $f$ varie entre. . et. . . . La moindre tension correspondant ici au plus grand coefficient. | 0,411<br>0,541 |

Nous ne devons pas omettre d'ajouter à ce tableau l'observation suivante de *Tom Richard* : c'est qu'en appliquant les coefficients ci-dessus au calcul des tensions T qui correspondraient à un tour et demi, deux tours et demi et trois tours et demi du lien flexible autour du cylindre fixe, on obtiendrait des valeurs de T *excessivement* exagérées par rapport à celles que donnent les observations directes et d'autant plus que le nombre des tours serait supposé plus grand. Ainsi, pour le cas du cylindre de sapin et la corde flexible qui a donné $f = 0,322$ pour $\pi$ ou un demi-tour, Q étant $= 0,454$ et

$$T = 0,454 \times 2,75$$

la formule pour :

$$\alpha = 3\pi, \qquad 5\pi, \qquad 7\pi$$

donnerait :

$$T = 0,454 \times 21 \qquad 0,454 \times 156 \qquad 0,454 \times 1,179$$

tandis que, Q étant toujours $= 0,454$, l'observation directe donne :

$$T = 0,454 \times 14 \qquad 0,454 \times 29.5 \qquad 0,454 \times 84.$$

D'après cela, pour tous les arcs plus grands que la demi-circonférence, les valeurs *théoriques* suivantes pêchent par excès :

**Tension que doit avoir le brin conducteur d'une corde ou courroie enroulée sur un tambour pour faire glisser à sa surface le brin conduit soumis à une tension donnée**
(MORIN, *Aide-mémoire de mécanique pratique*).

| Rapport de l'arc embrassé à la circonférence entière. | Valeur du rapport de la tension à la résistance. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Courroies neuves sur tambours en bois. | COURROIES à l'état ordinaire | | Courroies humides sur poulies en fonte. | Cordes sur tambours ou treuils en bois | |
| | | sur tambours en bois. | sur parties en fonte. | | bruts. | polis. |
| 0, 20 | 1, 87 | 1, 80 | 1, 42 | 1, 61 | 1, 87 | 1, 51 |
| 0, 30 | 2, 57 | 2, 43 | 1, 69 | 2, 05 | 2, 57 | 1, 86 |
| 0, 40 | 3, 51 | 3, 26 | 2, 02 | 2, 60 | 3, 51 | 2, 29 |
| 0, 50 | 4, 81 | 4, 38 | 2, 41 | 3, 30 | 4, 81 | 2, 82 |
| 0, 60 | 6, 59 | 5, 88 | 2, 87 | 4, 19 | 6, 58 | 3, 47 |
| 0, 70 | 9, 00 | 7, 90 | 3, 43 | 5, 32 | 9, 01 | 4, 27 |
| 0, 80 | 12, 34 | 10, 62 | 4, 09 | 6, 75 | 12, 34 | 5, 25 |
| 0, 90 | 16, 90 | 14, 27 | 4, 87 | 8, 57 | 16, 90 | 6, 46 |
| 1, 00 | 23, 14 | 19, 16 | 5, 81 | 10, 89 | 23, 90 | 7, 95 |
| 1, 50 | » | » | » | » | 111, 31 | 22, 42 |
| 2, 00 | » | » | » | » | 535, 47 | 63, 23 |
| 2, 50 | » | » | » | » | 2575, 80 | 178, 52 |

## ROIDEUR DES CORDES.

Le calcul de la résistance qui est produite par la roideur des cordes est trop compliqué pour la pratique. Les formules suivantes donnent approximativement, d'après Redtenbacher, cette résistance R. En appelant Q la tension qui existe dans le brin de corde qui s'enroule, $d$ le diamètre de la corde en centimètres, D le diamètre de la poulie en centimètres : 1° pour cordes en chanvre :

$$R = 0,26\,Q\frac{d^2}{D}\text{ kilogr.},$$

2° pour cordes en fil de fer :

$$R = 0,58\,Q\frac{d^2}{D}\text{ kilogr.}$$

De sorte que la force nécessaire pour vaincre une résistance Q produisant la tension de la corde est, pour cordes en chanvre :

$$F = Q\left(1 + 0,26\frac{d^2}{D}\right)\text{ kilogr.},$$

pour cordes en fil de fer,

$$F = Q\left(1 + 0,58\frac{d^2}{D}\right)\text{ kilogr.}$$

Coulomb calcule la résistance due à la roideur de la corde par la formule

$$\frac{d^m}{D} \times a\,Q,$$

dans laquelle $d$ et D sont respectivement les diamètres de la corde et de la poulie (en centimètres), Q la tension de la corde, $a$ et $m$ des constantes variables pour chaque espèce de corde : $m$ varie entre 1 et 2; pour cordes neuves $= 2$; pour cordes à demi-usées 1,5, et pour les cordes très-flexibles $= 1$.

$a = 0,26$ pour les cordes en chanvre et $a = 0,58$ pour cordes en fil de fer.

*Roideur des chaînes.* — La résistance qu'une chaîne présente à l'enroulement est l'effet du frottement qu'éprouvent les chaî-

nons en tournant sur leur axe (chaîne Gall) ou en tournant sur leurs anneaux; il faut faire en sorte que la longueur des chaînons soit aussi petite que possible relativement au rayon de la poulie ou du treuil.

Les chaînes plates à articulations, dont chaque chaînon est lié par deux boulons au chaînon qui précède ou qui suit sont avantageuses. Une autre bonne disposition de chaîne est formée d'anneaux oblongs, pleins, d'une petite longueur, et perpendiculaires les uns aux autres, qui entrent dans une raînure creusée dans le milieu de la gorge de la poulie ou du tambour.

## Transformation des mouvements

Organes de communication du mouvement d'une partie de machine à une autre pour obtenir celui-ci dans une direction et avec une vitesse déterminées.

TABLEAU DES TRANSFORMATIONS DE MOUVEMENTS

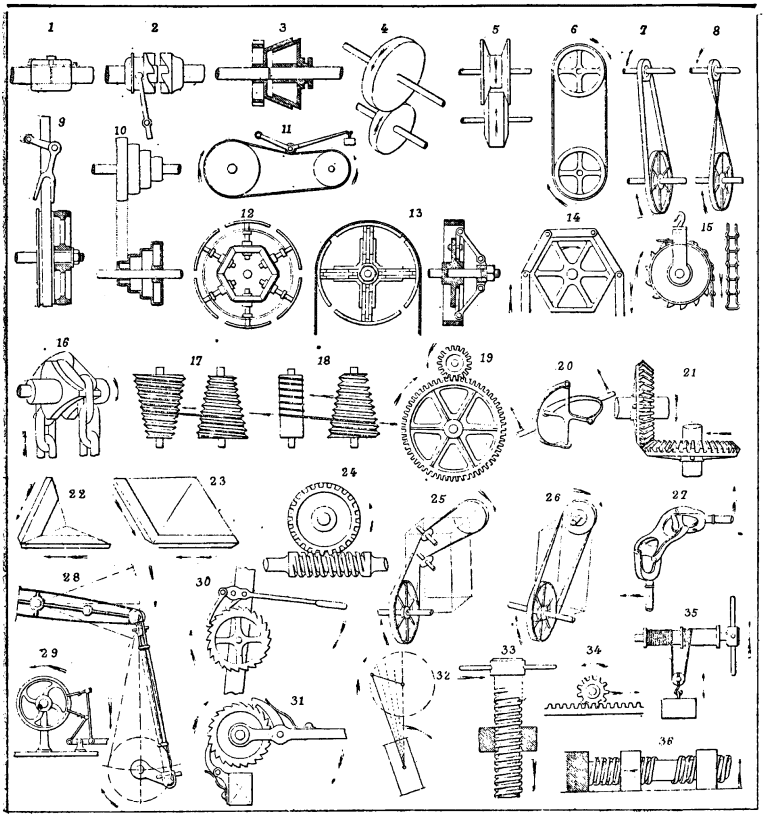
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Mouvement circulaire continu en : | 1 Circulaire continu<br>2 Circulaire alternatif<br>3 Rectiligne continu<br>4 Rectiligne alternatif | en 5 Circulaire alternatif<br>6 Rectiligne continu<br>7 Rectiligne alternatif | en 8 Rectiligne continu<br>9 Rectiligne alternatif | 10 Rectiligne alternatif |

11 Mouvement continu ou alternatif, d'après une courbe donnée en mouvement quelconque et réciproquement.

INDICATION DES MOUVEMENTS

| I<br>Mouvement circulaire continu en circulaire continu | | | II<br>Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif | III<br>Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif |
|---|---|---|---|---|
| 1° Axes situés en prolongement<br>Manchon ..... .. 1<br>Embrayages..... 2.3<br>2° Axes parallèles<br>Bonleaux.. ..... 4<br>Engrenage à coin (Minollo) ..... 5<br>Courroies (même sens et sens inverse).. 6.7.8<br>Courroie avec rouleau de | tension..... .. 11<br>Poulies accélératrices. 10<br>Poulies à expansion (2 syst.)..... 12.13<br>Poulie fixe et poulie folle ..... 9<br>Chaîne de Galle et à la Vaucanson ... 14.15<br>Ch. Neveu, p. treuils. 16<br>Cônes modificateurs de vitesses ..... 17.18 | Engrenages cylindriques ..... 19<br>3° Axes non parallèles se rencontrant<br>Joint universel.. ... 20<br>Roues d'angle. 21.22.23<br>4° Axes ne se rencontrant pas<br>Vis sans fin, courroies ..... 24.25.26<br>Double-joint de Hooke. 27 | Bielle et manivelle . 28<br>Ecliquetage par pression de M. Saladin, de Mulhouse ..... 29<br>Ecliquetage à dents 30.31<br>Machine à cylindre oscillant..... 32 | Vis et écrou..... 33<br>Pignon et crémaillère. 34<br>Treuil ..... 35<br>Vis différentielle.... 36 |

Planche I.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36

## Transformation des mouvements

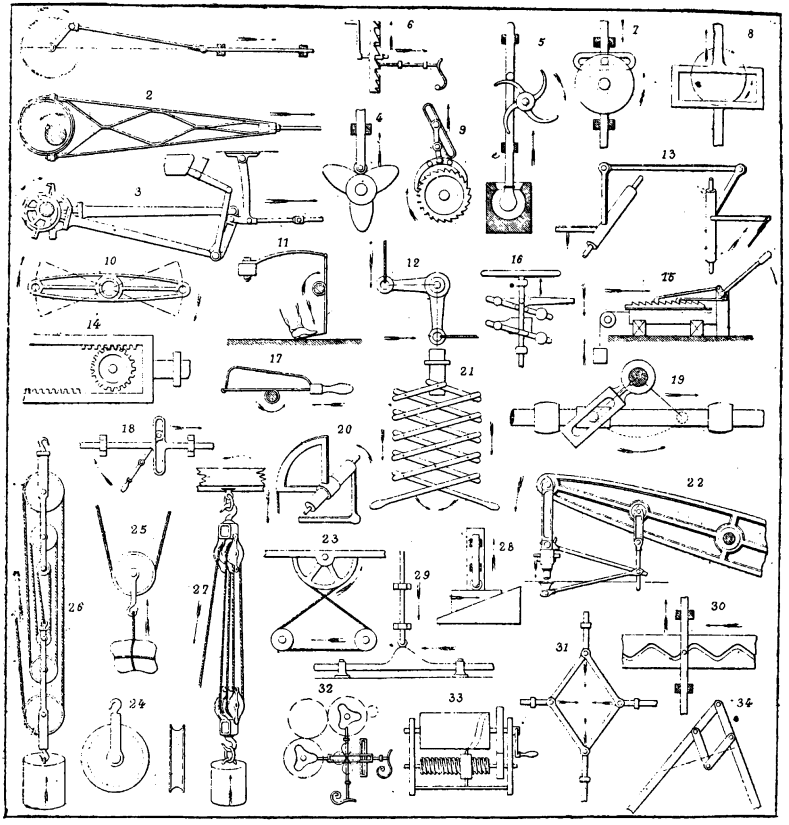
INDICATION DES MOUVEMENTS (*Suite*)

| IV<br>Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif | | V<br>Mouvement circulaire alternatif en circulaire alternatif | VI<br>Mouvement circulaire alternatif en rectiligne continu | VII<br>Mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif |
|---|---|---|---|---|
| Bielle excentrique. 1.2 | Mouvement rectiligne parallèle à l'axe de rotation..... 6 | Levier articulé (balancier).... ..... 10 | Crémaillère double. 14 | Tige horizontale douée d'un mouvement.. 19 |
| Excentrique double avec coulisse de Stephenson..... 3 | Rainure..... 7 | Tour à pédale..... 11 | Encliquetage..... 15 | Tige portant rainure. 18 |
| Divers excentriques.. 4 | Came triangulaire.... 8 | Mouvement de sonnette 12.13 | Encliquetage de M. Saladin..... 16 | Quart de cercle.... 20 |
| Batterie de pilons.... 5 | Encliquetage à dents. 9 | | | Archet..... 17 |

INDICATION DES MOUVEMENTS (*Suite*)

| VII<br>Mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif (*Suite*) | VIII<br>Mouvement rectiligne continu en rectiligne continu | IX<br>Mouvement rectiligne continu en rectiligne alternatif | X<br>Mouvement rectiligne alternatif en rectiligne alternatif | XI<br>Mouvement rectiligne ou alternatif d'après une courbe quelconque en mouvement quelconque. |
|---|---|---|---|---|
| Zigzag..... 21 | Poulies..... 24.25 | | | Courbe quelconque. 32 |
| Parallélogramme de Watt..... 22 | Moufflettes..... 26 | Direction de deux mouvements à angle droit..... 30 | Losange articulé.... 31 | Hélice..... 33 |
| Poulies..... 23 | Palans..... 27 | | | Pantographe..... 34 |
| | Mouvement rectiligne à angle droit.... 28.29 | | | |

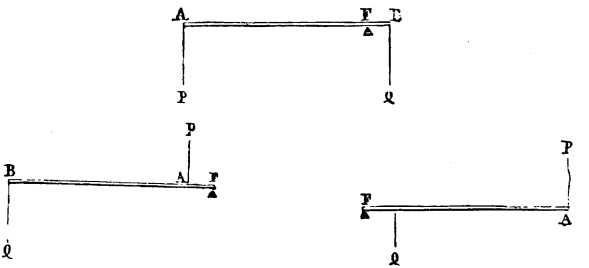
Planche II.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

# MACHINES SIMPLES

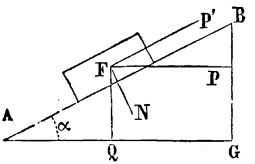
*Levier.* — Équation d'équilibre : $Pp = Qq$, $AF = p$ et $BF = q$; la pression sur le point fixe F est la résultante des forces P

Fig. 19.




et Q. Ce point d'appui et la direction de ces deux forces doivent être dans un même plan.

Fig. 20.




*Plan incliné.* — Soit Q le poids du corps; $\alpha$ l'angle du plan avec l'horizon; P ou P' la puissance horizontale ou parallèle au plan; N la résultante ou la pression sur le plan incliné.

L'équation d'équilibre est :

$$P\,\textit{horizontale} = Q \times \frac{CB}{AC} = N \times \frac{CB}{AB},$$

$$\text{et } P'\,\textit{parallèle au plan} = Q\frac{CB}{AB} = N \times \frac{CB}{AC}.$$

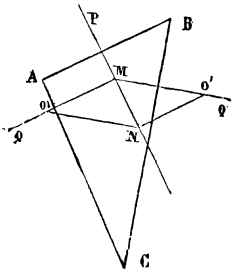
En tenant compte du frottement, si $\beta$ désigne l'angle compris entre la direction de la puissance et celle du plan, et $f$ le coefficient du frottement relatif aux substances en contact, on a :

$$P = \frac{\sin.\alpha + f\cos\alpha}{\cos.\beta + f\sin.\beta}Q.$$

Cas particuliers : 1° si P est horizontal, $\beta = \alpha$, alors,

$$P = \frac{\text{tang.}\,\alpha + f}{1 + f\,\text{tang.}\,\alpha}\,Q \qquad \text{et} \qquad N = \frac{Q}{\cos.\,\alpha - f \sin.\,\alpha};$$

Fig. 21.




2° Si P′ est parallèle au plan, $\beta = o$, alors

$$P' = (\sin.\,\alpha + f \cos.\,\alpha)\,Q.$$

*Coin.* — La puissance P, appliquée perpendiculairement à la tête A R du coin ; $f$ et $f'$ les coefficients des frottements ; $N = Q$ et $N' = Q$, les efforts de réaction que le coin supporte du dehors en dedans, normalement à ses côtés A C, B C (ces efforts produisant les frottements $fN$, $fN'$ agissant le long de ces mêmes côtés, de bas en haut) ; $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, les angles A, B, C du profil du coin, on a en équilibre.

$$P : Q : Q' :: MN : MO : NO,$$

$$N = \frac{P\,(\sin.\,\beta - f \cos.\,\beta)}{(1 - ff')\sin.\,\gamma + (f + f')\cos.\,\gamma}$$

et

$$N' = \frac{P\,(\sin.\,\alpha - f \cos.\,\alpha)}{(1 - ff')\sin.\,\gamma + (f + f')\cos.\,\gamma}.$$

Si $\text{tang.}\,\gamma = \dfrac{f + f'}{1 - ff'}$, les forces N et N′ font strictement équilibre aux frottements $fN$ et $f'N'$ ; et selon que

$$\text{tang.}\,\gamma \text{ est} > \text{ou} < \frac{f + f'}{1 - ff'},$$

le coin se trouve repoussé ou retenu entre les deux corps.

Le rapport de la quantité de travail produite à celle que développe réellement la puissance est :

$$\frac{\sin.\,\gamma - (f + f')\cos.\,\alpha \cos.\,\beta}{(1 - ff')\sin.\,\gamma + (f + f')\cos.\,\gamma}.$$

Pour un coin isocèle et ayant une base $= {}^1/_2$ hauteur, l'effet utile n'est que les ${}^2/_7$ environ du travail dépensé.

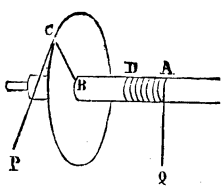
## Presse à coin.

(Voir : GRANDVOINNET *Presses et pressoirs;* Génie rural, lib. E. LACROIX).

| VALEURS de l'angle du coin en degrés. | RAPPORT entre la pression produite et la force qui agit sur la tête du coin. Théorique (équilibre). | Pratique, eu égard aux frottements | RENDEMENT ou effet utile. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 28, 645 | 4, 2456 | 0, 14821 | (1) Il faut une force infinie pour faire mouvoir le coin le moins résistant. |
| 6 | 9, 540 | 3, 26115 | 0, 34182 | |
| 12 | 4, 755 | 2, 41090 | 0, 50679 | |
| 18 | 3, 155 | 1, 90351 | 0, 60301 | |
| 24 | 2, 350 | 1, 56515 | 0, 66536 | |
| 30 | 1, 865 | 1, 32205 | 0, 70848 | |
| 36 | 1, 540 | 1, 13815 | 0. 73960 | |
| 42 | 1, 300 | 0, 99340 | 0, 76268 | |
| 48 | 1, 125 | 0. 87600 | 0, 78004 | |
| 96 | 0, 4502 | 0, 3607 | 0, 81514 | |
| 114 | 0, 3247 | 0, 25788 | 0, 79421 | |
| 132 | 0, 22261 | 0, 16520 | 0, 74208 | |
| 150 | 0, 13398 | 0, 08173 | 0, 61003 | |
| 168 | 0, 05255 | 0, 00247255 | 0, 04705 | |
| 180, 34 (1) | 0, 05000 | 0, 00000000 | 0, 0000 | |

*Treuil à axe horizontal.* — Soit P la puissance et Q la résistance verticale, agissant par l'intermédiaire de cordes situées dans des plans perpendiculaires à l'axe; $\alpha$, angle de P avec la verticale; M, poids total du treuil; R et $r$, rayons des roues; $\rho$, rayons des tourillons (supposés égaux); K, résistance provenant de la roideur de la corde qui s'enroule du côté de Q; $f_1$ valeur de $\frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, ($f$, rapport du frottement à la pression sur les tourillons), on a avec un degré d'approximation très-suffisant pour les applications ordinaires,

Fig. 22.




$$P = \frac{(Q+K)r + 0.96 f_1 \rho (M+Q)}{R - f_1 \rho (0.96 \cos.\alpha + 0,4 \sin.\alpha)}.$$

Dans le cas particulier de P vertical, on a :

$$P = \frac{(Q+K)r + f_1\rho(M+Q)}{R - f_1\rho}.$$

*Treuil à axe vertical ou cabestan.* — Soit P la somme de plusieurs puissances égales, et symétriquement distribuées autour de l'axe et agissant perpendiculairement à l'extrémité d'un levier d'une longueur R ; Q, résistance horizontale, et les autres notations comme ci-dessus, on a :

$$P = \frac{(Q+K)r + f_1\rho Q + \frac{2}{3} f M\rho.}{R}.$$

Dans un système de treuils en équilibre, la puissance est à la résistance comme le produit des rayons des cylindres est au produit des rayons des roues.

*Cric.* — Même équation d'équilibre que pour le treuil ; le cric est un treuil dont la manivelle est la roue, et le pignon est le cylindre.

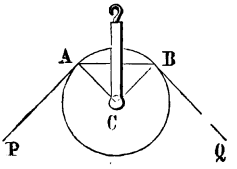


Fig. 23.

*Poulie fixe.* — Soit P, puissance, Q, résistance; $r$, rayon de la poulie; T et T', tension de la corde sur laquelle agissent P et Q; $a$ l'angle formé par ces tensions de part et d'autre de la droite qui joint leur point de concours avec le centre de la poulie; $b$, angle formé par la direction du poids de la poulie avec la droite ci-dessus; $m$, poids de la poulie; et les autres notations comme précédemment, on a :

$$T = \frac{(T'+k)r + f_1\rho\,[(0.96\cos.\alpha - 0.4\sin.a)T' + (0.96\cos.b - 0.4\sin.b)m]}{r - f_1\rho\,(0.96\cos.\alpha + 0.4\sin.a)}$$

si la puissance et la résistance sont verticales, on a :

$$T = \frac{(T'+k)r + f_1\rho(T'+m)}{r - f_1\rho}$$

Pour l'équilibre statique on a :

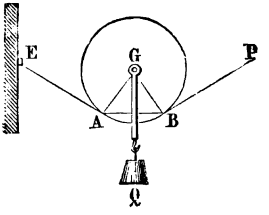
$$P = Q = \frac{Rr}{c},$$

R étant la pression sur l'axe de la poulie, $r$ le rayon, et $c$ la corde de l'axe embrassé.

*Poulie mobile.* — Soit $\alpha$ et $\beta$ les angles formés par T et T′ avec la verticale, et les autres notations comme ci-dessus, on a :

$$T = \frac{(T' + k)\, r + f\rho Q}{r},$$

Fig. 24.




attendu que Q représente la résultante des forces qui agissent sur l'axe; et on a les deux relations :

$$T \sin. \alpha - T' \sin. \beta = o,$$

et

$$\cos. \alpha + T' \cos. \beta - m = Q.$$

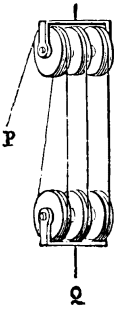
Si la puissance et la résistance sont sensiblement verticales (en négligeant les puissances de $\alpha$ et $\beta$ supérieures à la première), ces relations deviennent :

$$T\alpha - T\beta' = o \quad \text{et} \quad T + T' = Q + m,$$

alors,

$$T = \frac{(T + k)\, r - f_1 \rho (T' - m)}{r - f_1 \rho}.$$

Fig. 25.




L'équation statique d'équilibre est $P = R = \frac{Qr}{c}$.

Dans un système de poulies mobiles la puissance est à la résistance comme le produit des rayons est au produit des sous-tendantes. Si les cordons sont parallèles, la puissance est égale à la résistance divisée par $2^n$ ($n$ étant le nombre de poulies mobiles).

*Moufles à poulies égales.* — En conservant toujours les mêmes notations, on a pour les conditions d'équilibre d'une poulie quelconque :

$$T = \frac{T'(r + f_1 \rho)}{r - f_1 \rho} + \frac{kr}{r - f_1 \rho};$$

faisant, pour abréger,

$$\frac{kr}{r - f_1 \rho} = \alpha \quad \text{et} \quad \frac{r + f_1 \rho}{r - f_1 \rho} = \beta,$$

l'équation d'équilibre devient $T = \alpha + \beta T'$.

Soit Q la charge que supporte la chape inférieure des poulies, y compris son équipage et $t_1, t_2, t_2, \ldots t_{n+1}$, les tensions des cordons successifs,

On aura $t_1 + t_2 + t_3 \ldots t_n = Q$,

$$\text{et } t_{n+1} = \alpha + \beta t_n = \alpha \left( \frac{n \beta^n}{\beta^n - 1} - \frac{1}{\beta - 1} \right) + \frac{(\beta - 1) \beta_n}{\beta^n - 1} Q.$$

Fig. 26.

*Moufles à poulies inégales.* — En conservant toujours les mêmes notations, on a la suite d'équations :

$$t_2 = \alpha + \beta t_1, \qquad t_3 = \alpha_1 + \beta_1 t_1,$$
$$t_4 = \alpha_2 + \beta_2 t_1, \qquad t_n = \alpha_{n-1} + \beta_{n-1},$$

desquelles on tirera la valeur de $t_1$, puis ensuite celle de $t^n$ et de $t_{n+1}$ en posant encore l'équation :

$$Q = t_1 + t_2 + t_3 + \ldots t_n = \alpha + \alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_{n-2} + (1 + \beta + \beta_1 - \beta_2 + \ldots \beta_{n-2}) t_1.$$

Ces calculs se simplifient, dans la plupart des cas, attendu que les poulies symétriquement placées dans les deux chapes ont ordinairement des rayons égaux aussi bien que leurs tourillons.

*Vis.* — Pour l'équilibre, la puissance est à la résistance, comme la hauteur du pas de vis à la circonférence décrite par le point d'application de la puissance.

*Vis à filet carré.* — Soit l'axe vertical, la puissance horizontale appliquée à la tête de la vis, et l'écrou fixe. On peut supposer que la charge Q est distribuée uniformément sur un certain *filet moyen* de la vis ou de l'écrou, et s'y trouve posée comme sur un plan incliné.

Nommant $r$ le rayon du cylindre qui contient ce filet moyen ; $p$ la force horizontale, tangente à ce cylindre, qui serait capable de vaincre le poids Q et les frottements qui en résultent sur la surface du filet moyen ; $h$ la hauteur du pas de la vis ou de l'écrou ; $\pi$ le rapport de la circonférence du cercle au diamètre ; $\alpha$ l'angle d'inclinaison constante du filet moyen sur l'horizon ; $f$ le coefficient du frottement pour les surfaces en contact, on aura la formule :

$$p = Q\frac{h}{2\pi r} + fQ\frac{h^2 + 4\pi^2 r^2}{2\pi r(2\pi r - fh)} = Q\,\text{tang.}\,\alpha + fQ\frac{1 + \text{tang.}^2\alpha}{1 - f\,\text{tang.}\,\alpha}$$

dans laquelle la portion de $p$, employée seule à vaincre le frottement, a pour expression :

$$fQ\frac{1 + \text{tang.}^2\alpha}{1 - f\,\text{tang.}\,\alpha}.$$

Dans des vis d'un usage ordinaire, le travail dépensé par la puissance pour élever la charge, va quelquefois jusqu'au quadruple de celui qui répond à l'effet utile.

*Vis à filet triangulaire.* — Les formules relatives à cette sorte de vis sont plus compliquées que celles qui se rapportent à la vis ci-dessus, mais le rôle du frottement y est moins considérable; de sorte qu'à circonstances égales d'ailleurs, on doit accorder la préférence aux vis à filets triangulaires, lorsqu'on veut économiser le travail moteur.

*Vis sans fin.* — Pour l'équilibre, la puissance P = la résistance Q multipliée par le produit du pas de la vis et du rayon du cylindre $r$, divisée par le produit de la circonférence de la manivelle et du rayon de la roue dentée.

---

## ROUES D'ENGRENAGES.

Dans l'accouplement des roues, poulies ou engrenages de diamètres différents, la vitesse ou le nombre de tours est en raison inverse des diamètres, circonférences, rayons ou nombre de dents. Soit donc D et $d$ le diamètre de deux roues, N et $n$ leur nombre de dents ou de tours, V et $v$ leur vitesse en mètres ou en nombre de tours, en un temps donné, on aura les proportions :

$$D : d :: v : V, \quad \text{et} \quad N : n :: v : V\ ;$$

d'où l'on tirera une valeur quelconque connaissant les autres.

### OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

1° Les diamètres, rayons, nombre de dents, épaisseur, vitesse circulaire, etc., se déterminent sur le *cercle primitif* ou de contact;

2° L'épaisseur des dents dépend de l'effort qu'elles ont à vaincre et de la vitesse du mouvement (Voir le tableau à l'article *Résistance des matériaux*). L'effort peut d'ailleurs se répartir sur plusieurs dents;

3° Le creux entre les dents égale l'épaisseur d'une dent, plus $^1/_{10}$ environ pour le *jeu*:

4° La hauteur d'une dent égale ordinairement 1,35 fois son épaisseur; par exception, et pour mettre en prise un plus grand nombre de dents, on les a allongées jusqu'à près de 3 fois son épaisseur;

5° La courbe des dents d'engrenage s'obtient par un tracé géométrique basé sur les propriétés de la cycloïde, de la développante de cercle, etc;

6° La largeur des dents égale ordinairement de trois à cinq fois leur épaisseur. (Voir l'article *Résistance à l'écrasement*).

7° La jante ou couronne qui porte les dents égale de 1,30 à 2 fois l'épaisseur des dents.

## TRACÉ DES ENGRENAGES (1).

### Règles pratiques

Tableau donnant, à titre d'indication, quelques proportions d'atelier.

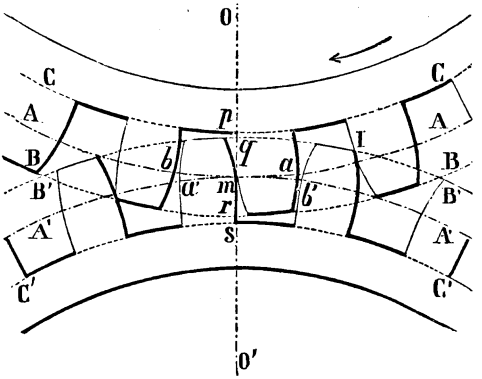
| DÉSIGNATION DES QUANTITÉS. | | | NOMBRES PROPORTIONNELS | |
|---|---|---|---|---|
| Pas : $ab = a'b'$ | | | 1 | 15 |
| Jeu d'épaisseur : $mb - ma$, ou $mb' - ma'$ | | | $\frac{1}{12}$ | 1 |
| Distance | du cercle primitif au cercle. | d'échanfrinement : $mr$ | 0,3 | 5,5 |
| | | d'évidement : $mp$ | 0,4 | 6,5 |
| | totale : $pr = sq$ | | 0,7 | 12 |
| Jeu de fond : $pq = rs$ | | | 0,1 | 1 |

(1) Émile LECLERT, *Cours de Mécanique : les principes et les machines*. 3e édition, 1 vol. in-12, cartonné, 3 fr. 50.

### DIAMÈTRE DU CERCLE PRIMITIF D'APRÈS LE NOMBRE DES DENTS ET LE PAS DE L'ENGRENAGE.

En appelant *pas* d'un engrenage la distance d'axe en axe de deux dents consécutives prise sur la circonférence primi-

Fig. 27.




AA, A'A', cercles primitifs. — OO', ligne des centres.
La longueur de la circonférence primitive divisée par le nombre des dents, ou la distance de deux points homologues, donne ce qu'on appelle le *pas de l'engrenage*, quantité nécessairement la même pour les deux roues; $ab = a'b'$; — la partie $am$ du pas occupée par la dent se nomme le *plein*, le reste $mb$ est le *creux*; le creux excède le plein d'une quantité qui s'appelle le *jeu d'épaisseur*.
B et B', cercles extérieurs ou d'*échanfrinement*. — C et C', cercles intérieurs ou d'évidement; le cercle d'*évidement* d'une des deux roues et celui d'échanfrinement de l'autre laissent, sur la ligne des centres, un *jeu de fond*; $pq$, $rs$

tive, si $p$ désigne le *pas*, $d$ le diamètre du centre primitif, et $n$ le nombre des dents, on a :

$$d = \frac{n}{\pi} = 0{,}31831\, np,$$

et si la longueur du pas est prise par unité,

$$d = 0{,}31831\, n.$$

d'où la table ci-après :

**La longueur de l'arc, pas de l'engrenage, étant prise pour unité.**

| NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE. | NOMBRE de dents | DIAMÈTRE | NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE. | NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **10** | 3, 1831 | **60** | 19, 0986 | **110** | 35, 0141 | **160** | 50, 9296 |
| 11 | 3, 5014 | 61 | 19, 4169 | 111 | 35, 3324 | 161 | 51, 2451 |
| 12 | 3, 8197 | 62 | 19, 7352 | 112 | 35, 6507 | 162 | 51, 5662 |
| 13 | 4, 1380 | 63 | 20, 0535 | 113 | 35, 9690 | 163 | 51, 8845 |
| 14 | 4, 4563 | 64 | 20, 3718 | 114 | 36, 2873 | 164 | 52, 2028 |
| **15** | 4, 7746 | **65** | 20, 6901 | **115** | 36, 6057 | **165** | 52, 5212 |
| 16 | 5, 0930 | 66 | 21, 0085 | 116 | 36, 9240 | 166 | 52, 8395 |
| 17 | 5, 4113 | 67 | 21, 3268 | 117 | 37, 2423 | 167 | 53, 1578 |
| 18 | 5, 7296 | 68 | 21, 6451 | 118 | 37, 5606 | 168 | 53, 4761 |
| 19 | 6, 0479 | 69 | 21, 9634 | 119 | 37, 8789 | 169 | 53, 7944 |
| **20** | 6, 3662 | **70** | 22, 2817 | **120** | 38, 1972 | **170** | 54, 1127 |
| 21 | 6, 6845 | 71 | 22, 6000 | 121 | 38, 5155 | 171 | 54, 4310 |
| 22 | 7, 0028 | 72 | 22, 9183 | 122 | 38, 8338 | 172 | 54, 7493 |
| 23 | 7, 3211 | 73 | 23, 2366 | 123 | 39, 1521 | 173 | 55, 0676 |
| 24 | 7, 6394 | 74 | 23, 5549 | 124 | 39, 4704 | 174 | 55, 3859 |
| **25** | 7, 9577 | **75** | 23, 8732 | **125** | 39, 7888 | **175** | 55, 7043 |
| 26 | 8, 2761 | 76 | 24, 1916 | 126 | 40, 1071 | 176 | 56, 0226 |
| 27 | 8, 5944 | 77 | 24, 5099 | 127 | 40, 4254 | 177 | 56, 3409 |
| 28 | 8, 9127 | 78 | 24, 8282 | 128 | 40, 7437 | 178 | 56, 6592 |
| 29 | 9, 2310 | 79 | 25, 1465 | 129 | 41, 0620 | 179 | 56, 9775 |
| **30** | 9, 5493 | **80** | 25, 4648 | **130** | 41, 3803 | **180** | 57, 2958 |
| 31 | 9, 8676 | 81 | 25, 7831 | 131 | 41, 6986 | 181 | 57, 6141 |
| 32 | 10, 1859 | 82 | 26, 1014 | 132 | 42, 0169 | 182 | 57, 9324 |
| 33 | 10, 5042 | 83 | 26, 4197 | 133 | 42, 3352 | 183 | 58, 2507 |
| 34 | 10, 8225 | 84 | 26, 7380 | 134 | 42, 6535 | 184 | 58, 5694 |
| **35** | 11, 1408 | **85** | 27, 0563 | **135** | 42, 9719 | **185** | 58, 8874 |
| 36 | 11, 4592 | 86 | 27, 3747 | 136 | 43, 2902 | 186 | 59, 2057 |
| 37 | 11, 7775 | 87 | 27, 6930 | 137 | 43, 6085 | 187 | 59, 5240 |
| 38 | 12, 0958 | 88 | 28, 0113 | 138 | 43, 9268 | 188 | 59, 8423 |
| 39 | 12, 4141 | 89 | 28, 3296 | 139 | 44, 2459 | 189 | 60, 1606 |
| **40** | 12, 7324 | **90** | 28, 6479 | **140** | 44, 5634 | **190** | 60, 4789 |
| 41 | 13, 0508 | 91 | 28, 9662 | 141 | 44, 8817 | 191 | 60, 7972 |
| 42 | 13, 3690 | 92 | 29, 2845 | 142 | 45, 2000 | 192 | 61, 1155 |
| 43 | 13, 6873 | 93 | 29, 6028 | 143 | 45, 5183 | 193 | 61, 4338 |
| 44 | 14, 0056 | 94 | 29, 9211 | 144 | 45, 8366 | 194 | 61, 7521 |
| **45** | 14, 3239 | **95** | 30, 2394 | **145** | 46, 1550 | **195** | 62, 0705 |
| 46 | 14, 6423 | 96 | 30, 5578 | 146 | 46, 4733 | 196 | 62, 3888 |
| 47 | 14, 9606 | 97 | 30, 8761 | 147 | 46, 7916 | 197 | 62, 7071 |
| 48 | 15, 2789 | 98 | 31, 1944 | 148 | 47, 1099 | 198 | 63, 0254 |
| 49 | 15, 5992 | 99 | 31, 5127 | 149 | 47, 4282 | 199 | 63, 3437 |
| **50** | 15, 9155 | **100** | 31, 8310 | **150** | 47, 7465 | **200** | 63, 6620 |
| 51 | 16, 2338 | 101 | 32, 1493 | 151 | 48, 0648 | 201 | 63, 9803 |
| 52 | 16, 5521 | 102 | 32, 4676 | 15 | 48, 3831 | 202 | 64, 2986 |
| 53 | 16, 8704 | 103 | 32, 7859 | 15 | 48, 7014 | 203 | 64, 6179 |
| 54 | 17, 1887 | 104 | 33, 1042 | 15 | 49, 0197 | 204 | 64, 9352 |
| **55** | 17, 5070 | **105** | 33, 4226 | **155** | 49, 3381 | **205** | 65, 2536 |
| 56 | 17, 8254 | 106 | 33, 7409 | 156 | 49, 6564 | 206 | 65, 5719 |
| 57 | 18, 1437 | 107 | 34, 0592 | 157 | 49, 9747 | 207 | 65, 8902 |
| 58 | 18, 4620 | 108 | 34, 3775 | 158 | 50, 2930 | 208 | 66, 2085 |
| 59 | 18, 7803 | 109 | 34, 6958 | 159 | 50, 6113 | 209 | 66, 5268 |

**La longueur de la corde qui sous-tend l'arc, pas de l'engrenage étant prise pour unité.**

| NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE. | NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE. | NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE. | NOMBRE de dents. | DIAMÈTRE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **10** | 3, 2360 | **55** | 17, 5165 | **100** | 31, 8362 | **145** | 46, 1585 |
| 11 | 3, 5494 | 56 | 17, 8347 | 101 | 32, 1544 | 146 | 46, 4768 |
| 12 | 3, 8637 | 57 | 18, 1528 | 102 | 32, 4727 | 147 | 46, 7951 |
| 13 | 4, 1785 | 58 | 18, 4710 | 103 | 32, 7910 | 148 | 47, 1134 |
| 14 | 4, 1939 | 59 | 18, 7891 | 104 | 33, 1092 | 149 | 47, 4816 |
| **15** | 4, 8097 | **60** | 19, 1073 | **105** | 33, 4275 | **150** | 47, 7499 |
| 16 | 5, 1258 | 61 | 19, 4254 | 106 | 33, 7457 | 151 | 48, 0682 |
| 17 | 5, 4421 | 62 | 19, 7436 | 107 | 34, 0640 | 152 | 48, 3765 |
| 18 | 5, 7587 | 63 | 20, 0618 | 108 | 34, 3823 | 153 | 48, 7048 |
| 19 | 6, 0755 | 64 | 20, 3860 | 109 | 34, 7005 | 154 | 49, 0231 |
| **20** | 6, 3924 | **65** | 20, 6982 | **110** | 35, 0188 | **155** | 49, 3414 |
| 21 | 6, 7095 | 66 | 21, 0163 | 111 | 35, 3371 | 156 | 49, 6596 |
| 22 | 7, 0066 | 67 | 21, 3345 | 112 | 35, 6553 | 157 | 49, 9779 |
| 23 | 7, 3439 | 68 | 21, 6527 | 113 | 35, 9736 | 158 | 50, 2962 |
| 24 | 7, 6612 | 69 | 21, 9709 | 114 | 36, 2919 | 159 | 50, 6145 |
| **25** | 7, 9787 | **70** | 22, 2891 | **115** | 36, 6101 | **160** | 50, 9328 |
| 26 | 8, 2862 | 71 | 22, 6073 | 116 | 36, 9284 | 161 | 51, 2511 |
| 27 | 8, 6137 | 72 | 22, 9255 | 117 | 37, 2467 | 162 | 51, 5694 |
| 28 | 8, 9314 | 73 | 23, 2437 | 118 | 37, 5650 | 163 | 51, 8877 |
| 29 | 9, 2490 | 74 | 23, 5620 | 119 | 37, 8832 | 164 | 52, 2060 |
| **30** | 9, 5667 | **75** | 23, 8802 | **120** | 38, 2015 | **165** | 52, 5243 |
| 31 | 9, 8845 | 76 | 24, 1984 | 121 | 38, 5198 | 166 | 52, 8425 |
| 32 | 10, 2022 | 77 | 24, 5166 | 122 | 38, 8380 | 167 | 53, 1608 |
| 33 | 10, 5201 | 78 | 24, 8348 | 123 | 39, 1563 | 168 | 53, 4791 |
| 34 | 10, 8379 | 79 | 25, 1531 | 124 | 39, 4716 | 169 | 53, 7974 |
| **35** | 11, 1558 | **80** | 25, 4723 | **125** | 39, 7929 | **170** | 51, 1157 |
| 36 | 11, 4737 | 81 | 25, 7895 | 126 | 40, 1112 | 171 | 54, 4340 |
| 37 | 11, 7916 | 82 | 26, 1077 | 127 | 40, 4294 | 172 | 54, 7523 |
| 38 | 12, 1095 | 83 | 26, 4260 | 128 | 40, 7477 | 173 | 55, 0706 |
| 39 | 12, 4275 | 84 | 26, 7442 | 129 | 41, 0660 | 174 | 55, 3889 |
| **40** | 12, 7454 | **85** | 27, 0625 | **130** | 41, 3843 | **175** | 55, 7072 |
| 41 | 13, 0634 | 86 | 27, 3807 | 131 | 41, 7025 | 176 | 56, 0255 |
| 42 | 13, 3814 | 87 | 27, 6989 | 132 | 42, 0208 | 177 | 56, 3438 |
| 43 | 13, 6995 | 88 | 28, 0172 | 133 | 42, 3391 | 178 | 56, 6621 |
| 44 | 14, 0175 | 89 | 28, 3354 | 134 | 42, 6574 | 179 | 56, 9803 |
| **45** | 14, 3355 | **90** | 28, 6537 | **135** | 42, 9757 | **180** | 57, 2986 |
| 46 | 14, 6536 | 91 | 28, 9719 | 136 | 43, 2939 | 181 | 57, 6169 |
| 47 | 14, 9717 | 92 | 29, 2902 | 137 | 43, 6122 | 182 | 57, 9352 |
| 48 | 15, 2897 | 93 | 29, 6084 | 138 | 43, 9305 | 183 | 58, 2535 |
| 49 | 15, 6078 | 94 | 29, 9267 | 139 | 44, 2488 | 184 | 58, 5718 |
| **50** | 15, 9259 | **95** | 30, 2149 | **140** | 44, 5671 | **185** | 58, 8901 |
| 51 | 16, 2440 | 96 | 30, 5632 | 141 | 44, 8854 | 186 | 59, 2084 |
| 52 | 16, 5621 | 97 | 30, 8814 | 142 | 45, 2036 | 187 | 59, 5267 |
| 53 | 16, 8803 | 98 | 31, 1997 | 143 | 45, 5219 | 188 | 59, 8450 |
| 54 | 17, 1984 | 99 | 31, 5179 | 144 | 45, 8402 | 189 | 60, 1633 |

Si $c$ désigne la longueur de la corde qui sous-tend l'arc, pas de l'engrenage, on a

$$d = \frac{c}{\sin \frac{180}{n}},$$

et si cette longueur de cadre est prise pour unité :

$$d = \frac{1}{\sin \frac{180}{n}},$$

d'où le tableau qui précède.

---

## TRACÉ PRATIQUE DU PROFIL DES DENTS

### AU MOYEN D'ARCS DE CERCLE.

Les cercles primitifs étant décrits et divisés, il s'agit de tracer le profil des dents. Le cadre de ce recueil ne permettant pas de développer l'observation générale 5° ci-dessus, nous nous bornerons à la méthode suivante.

Dans ce mode de tracé, le flanc et la face sont deux arcs distincts qui se rencontrent à une même division du cercle primitif. Ces arcs sont déterminés si l'on sait avec quel rayon ils doivent être tracés et à quelle distance leur centre est du centre de la roue. C'est ce que donnent les tables suivantes, calculées par Robert Adcock, d'après une combinaison des méthodes de Bryan Donkin et de Willis et des expériences d'atelier (*the Engineer.*) Elles sont présentées comme conduisant à des résultats satisfaisants au triple point de vue de la régularité du fonctionnement, de la résistance et de l'uniformité de l'usure.

Par *lieu des centres des flancs* et *lieu des centres des faces*, on entend les cercles qui, concentriques au cercle primitif, contiennent les centres desquels sont décrits les flancs ou les faces. Nous donnons trois séries. Deux roues d'une même série, quels que soient leurs diamètres, engrèneront régulièrement, à la seule condition d'avoir même longueur de pas. En général, pour la pratique d'un atelier, une seule série de gabarits suffira : les séries A et B donnent, sur le cercle d'évidement, à la racine des dents, une étendue plus grande que la série C.

Le pas est ici pris pour unité.

*Frottement des engrenages.* — En appelant T le travail dépensé par la roue menante, $t$ le travail disponible sur l'arbre de la roue menée, $p$ le pas de l'engrenage, $r$ et $r'$ les rayons des cercles primitifs, $f$ le coefficient de frottement, on a :

$$\frac{T}{t}=1+\frac{fp}{2}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right).$$

Sous une autre forme, dans le cas d'un engrenage cylindrique, $n$ et $n'$ désignant le nombre des dents :

$$\frac{T}{t}=1+\pi f\left(\frac{1}{n}+\frac{1}{n'}\right).$$

## Série A. — PARTANT D'UN MINIMUM DE 8 DENTS.

| Nombre des dents | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la force. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 75 | .707 | .923 | 12.136 | .027 | 145 | .927 | | .206 | |
| | | | | | 76 | 11.956 | 0.923 | 12.295 | 1.026 | 146 | 23.086 | .944 | .425 | |
| | | | | | 77 | 12.115 | .924 | .454 | .025 | 147 | 245 | | .584 | .995 |
| 8 | 1.241 | 0.734 | | | 78 | .274 | | .613 | .024 | 148 | .404 | | .743 | |
| 9 | .393 | .747 | 5.097 | 4.886 | 79 | .433 | .925 | .772 | .023 | 149 | .563 | | .902 | |
| **10** | .544 | .759 | 3.365 | 2.927 | **80** | .592 | | .931 | .022 | **150** | .722 | | 24.061 | |
| 11 | .696 | 0.770 | 3.323 | 2.274 | 81 | .751 | .926 | 13.090 | | 151 | .881 | | .220 | |
| 12 | .850 | .779 | 2.860 | 1.943 | 82 | .910 | | .249 | 1.021 | 152 | 24.040 | .944 | .379 | .994 |
| 13 | 2.004 | .788 | 2.803 | .765 | 83 | 13.069 | | .408 | .020 | 153 | .199 | | .538 | |
| 14 | .158 | .796 | 2.845 | .617 | 84 | .228 | | .567 | .019 | 154 | .358 | | .697 | |
| 15 | .314 | .803 | 2.932 | .524 | 85 | .387 | .927 | .726 | | 155 | .517 | | .856 | |
| 16 | .470 | .810 | 3.038 | .454 | 86 | .546 | | .885 | 1.018 | 156 | .676 | .945 | 25.015 | .993 |
| 17 | .626 | .816 | .957 | .400 | 87 | .705 | | 14.044 | .017 | 157 | .835 | | .174 | |
| 18 | .782 | .822 | .284 | .357 | 88 | .864 | .928 | .203 | .016 | 158 | .994 | | .333 | |
| 19 | .938 | .838 | .419 | .321 | 89 | 14.023 | | .362 | | 159 | 25.153 | | .492 | |
| **20** | 3.094 | 0.833 | .557 | 1.291 | **90** | .182 | | .521 | .015 | **160** | .312 | | .651 | |
| 21 | .251 | .838 | .669 | .266 | 91 | .341 | .929 | .680 | | 161 | .471 | | .810 | .992 |
| 22 | .408 | .842 | .845 | .245 | 92 | .500 | | .839 | 1.014 | 162 | .630 | | .969 | |
| 23 | .565 | .846 | .991 | .226 | 93 | .659 | | .998 | .013 | 163 | .789 | | 26.128 | |
| 24 | .722 | .850 | 4.138 | .210 | 94 | .818 | .930 | 15.157 | | 164 | .948 | | .287 | |
| 25 | .879 | .853 | .288 | .196 | 95 | .977 | | .316 | .012 | 165 | 26.107 | | .446 | |
| 26 | 4.036 | .856 | .439 | .183 | 96 | 15.136 | | .475 | | 166 | .266 | .946 | .605 | .991 |
| 27 | .193 | .859 | .591 | .171 | 97 | .295 | .931 | .634 | 1.011 | 167 | .425 | | .764 | |
| 28 | .350 | .862 | .743 | .162 | 98 | .454 | | .793 | | 168 | .584 | | .923 | |
| 29 | .507 | .865 | .897 | .152 | 99 | .610 | | .952 | .010 | 169 | .743 | | 27.082 | |
| **30** | .664 | 0.868 | 5.070 | 1.144 | **100** | .770 | .932 | 16.111 | | **170** | .902 | | .241 | |
| 31 | .821 | .870 | .204 | .137 | 101 | 931 | | 270 | 1.009 | 171 | 27.061 | | .400 | .990 |
| 32 | .979 | .872 | .359 | .130 | 102 | 16.090 | .933 | .429 | | 172 | .220 | | .559 | |
| 33 | 5.137 | .874 | .514 | .123 | 103 | .249 | | .588 | .008 | 173 | .379 | | .718 | |
| 34 | .295 | .876 | .669 | .117 | 104 | .408 | | .747 | | 174 | .538 | | .877 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **35** | .453 | 0.878 | .825 | .111 | 105 | .567 | .934 | .906 | | 175 | .697 | | 28 036 | |
| 36 | .611 | .880 | .981 | 1.106 | 106 | .726 | | 17.065 | 1.007 | 176 | .856 | .947 | .196 | |
| 37 | .769 | .882 | 6.137 | .101 | 107 | .885 | | .224 | | 177 | 28.015 | | .334 | |
| 38 | .927 | .884 | .293 | 0 097 | 108 | 17 044 | | .383 | .006 | 178 | .174 | | .513 | .989 |
| 39 | 6.085 | .886 | .449 | 0 093 | 109 | .203 | .935 | .542 | | 179 | .333 | | .672 | |
| **40** | .243 | 0 888 | .606 | 0.089 | **110** | .362 | | .701 | | **180** | .492 | | .831 | |
| 41 | .401 | .890 | 767 | 1.085 | 111 | .521 | | .860 | 1.005 | 181 | .651 | | .990 | |
| 42 | .559 | .892 | .920 | 0 081 | 112 | .680 | .936 | 18 019 | | 182 | .810 | | 29.149 | |
| 43 | .718 | .894 | 7 077 | .078 | 113 | .839 | | .178 | | 183 | .969 | | .308 | |
| 44 | .876 | .895 | .234 | .075 | 114 | .998 | | .337 | .004 | 184 | 29 128 | | .467 | |
| 45 | 7.035 | .897 | .391 | .072 | 115 | 18.157 | | .596 | | 185 | .287 | | .626 | |
| 46 | .193 | .898 | .549 | 1.069 | 116 | .316 | .937 | .655 | 1.003 | 186 | .446 | .948 | .785 | .988 |
| 47 | .352 | .899 | .707 | 0.066 | 117 | .475 | | .814 | | 187 | .605 | | .944 | |
| 48 | .510 | .900 | .865 | .064 | 118 | .634 | | .973 | | 188 | .764 | | 30.103 | |
| 49 | .669 | .901 | 8 023 | .062 | 119 | .793 | | 19 132 | .002 | 189 | .923 | | .262 | |
| **50** | .827 | 0.902 | .181 | .060 | **120** | .952 | .938 | .291 | | **190** | 30.082 | | .421 | |
| 51 | .986 | .903 | .339 | 1.058 | 121 | 19.111 | | .450 | | 191 | .241 | | .580 | |
| 52 | 8 144 | .904 | .497 | .056 | 122 | .270 | | .609 | | 192 | .400 | | .739 | |
| 53 | .303 | .905 | .655 | .054 | 123 | .429 | | .768 | 1.001 | 193 | .559 | | .898 | |
| 54 | .461 | .906 | .813 | .052 | 124 | .588 | .939 | .927 | | 194 | .718 | | 31 157 | |
| 55 | .620 | 907 | .971 | .050 | 125 | .747 | | 20 086 | | 195 | .877 | | .216 | |
| 56 | .778 | .988 | 9.129 | 1 048 | 126 | .906 | | .245 | 1.000 | 196 | 31.036 | .949 | .375 | .987 |
| 57 | .937 | .909 | .287 | .046 | 127 | 20.065 | .940 | 394 | | 197 | .195 | | .534 | |
| 58 | 9 095 | .910 | .445 | .044 | 128 | .224 | | .563 | | 198 | .354 | | .693 | |
| 59 | .254 | .910 | .603 | .043 | 129 | .383 | | .722 | | 199 | .513 | | .852 | |
| **60** | .412 | 0.911 | .761 | .042 | **130** | .542 | | .881 | | **200** | .672 | | 32.011 | |
| 61 | .571 | .912 | 919 | 1.041 | 131 | .701 | .941 | 21.040 | 0.999 | 201 | .831 | | .170 | |
| 62 | .730 | .913 | 10 077 | .040 | 132 | .860 | | .199 | | 202 | .990 | | .329 | |
| 63 | .889 | .914 | .235 | .039 | 133 | 21.019 | | .358 | | 203 | 32.149 | | .488 | |
| 64 | 10.048 | .915 | .393 | .038 | 134 | .178 | | .517 | | 204 | .308 | | .647 | |
| 65 | .207 | .916 | .551 | .037 | 135 | .337 | .942 | .676 | .998 | 205 | .467 | | .806 | |
| 66 | .366 | .917 | .709 | 1.036 | 136 | .496 | | .835 | | 206 | .626 | .950 | .965 | .986 |
| 67 | .525 | .917 | .867 | .335 | 137 | .655 | | .994 | | 207 | .785 | | 33.124 | |
| 68 | .684 | .918 | 11.025 | .034 | 138 | .814 | | 22.153 | | 208 | .944 | | .283 | |
| 69 | .843 | .919 | .183 | .033 | 139 | .973 | | .312 | 0.997 | 209 | 33 103 | | .442 | |
| **70** | 11.002 | 0 920 | .341 | .032 | **140** | 22.132 | .943 | .471 | | **210** | .262 | | .601 | |
| 71 | 11.161 | .920 | 11.500 | 1.031 | 141 | .291 | | .630 | | | | | | |
| 72 | .320 | .921 | .659 | .030 | 142 | .450 | | .789 | | | | | | |
| 73 | .479 | .922 | .818 | .029 | 143 | .609 | | .948 | .996 | | | | | |
| 74 | .638 | .922 | .977 | .028 | 144 | .768 | | 23.107 | | | | | | |

## Serie B. — PARTANT D'UN MINIMUM DE 10 DENTS.

| Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon de la face. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon du flanc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **10** | 1.565 | 0.736 | | | **80** | .623 | .920 | .904 | .045 | **150** | .753 | | 24.026 | |
| 11 | 1.718 | .747 | 6.138 | 5.879 | 81 | .782 | | 13.062 | .044 | 151 | .912 | | .185 | .009 |
| 12 | 1.873 | .757 | 3.928 | 3.411 | 82 | .941 | .921 | .221 | .043 | 152 | 24.071 | | .344 | |
| 13 | 2.027 | .766 | 3.404 | 2.643 | 83 | 13.000 | | .379 | .042 | 153 | .230 | .941 | .503 | |
| 14 | .183 | .775 | 3.183 | 2.190 | 84 | .259 | .922 | .537 | .041 | 154 | .389 | | .662 | |
| 15 | .338 | .783 | 3.153 | 1.945 | 85 | .418 | | .696 | .040 | 155 | .548 | | .821 | .008 |
| 16 | .493 | .790 | 3.184 | .783 | 86 | .577 | .923 | .854 | .039 | 156 | .707 | | .980 | |
| 17 | .650 | .797 | 3.258 | .664 | 87 | .736 | | 14.013 | .038 | 157 | .866 | .942 | 25.139 | |
| 18 | .806 | .808 | 3.357 | .580 | 88 | .895 | .924 | .171 | .037 | 158 | 25.025 | | .298 | |
| 19 | .963 | .809 | 3.472 | .511 | 89 | 14.054 | | .330 | .036 | 159 | .184 | | .457 | .007 |
| **20** | 3.119 | 0.814 | .594 | .456 | **90** | .213 | .925 | .488 | .035 | **160** | .343 | | .616 | |
| 21 | .276 | .819 | .726 | 1.414 | 91 | .372 | | .647 | .034 | 161 | .502 | .943 | .775 | |
| 22 | .433 | .824 | .862 | .377 | 92 | .531 | .926 | .805 | .033 | 162 | .661 | | .934 | |
| 23 | .590 | .828 | 4.002 | .346 | 93 | .690 | | .964 | .032 | 163 | .820 | | 26.093 | .006 |
| 24 | .747 | .832 | .145 | .315 | 94 | .849 | .927 | 15.122 | .031 | 164 | .979 | | .252 | |
| 25 | .904 | .836 | .290 | .296 | 95 | 15.008 | | .281 | .030 | 165 | 26.138 | | .411 | |
| 26 | 4.061 | .840 | .437 | 1.276 | 96 | .167 | .928 | .440 | .029 | 166 | .297 | .944 | .570 | |
| 27 | .218 | .844 | .586 | .258 | 97 | .326 | | .599 | .028 | 167 | .456 | | .729 | |
| 28 | .376 | .847 | .736 | .242 | 98 | .485 | | .758 | .027 | 168 | .615 | | .888 | .005 |
| 29 | .534 | .850 | .887 | .228 | 99 | .644 | .929 | .917 | .026 | 169 | .774 | | 27.047 | |
| **30** | .692 | 0.853 | 5.040 | .215 | **100** | .803 | | 16.076 | | **170** | .933 | | .206 | |
| 31 | .850 | .856 | .193 | 1.204 | 101 | .902 | | .235 | .025 | 171 | 27.092 | .945 | .365 | |
| 32 | 5.008 | .859 | .356 | .194 | 102 | 6.121 | .930 | .394 | | 172 | .251 | | .524 | |
| 33 | .166 | .862 | .500 | .184 | 103 | .280 | | .553 | .024 | 173 | .410 | | .683 | .004 |
| 34 | .324 | .864 | .654 | .175 | 104 | .439 | | .712 | | 174 | .569 | | .842 | |
| 35 | .483 | .867 | .800 | .166 | 105 | .598 | | .871 | .023 | 175 | .728 | | 28.001 | |
| 36 | .641 | .869 | .963 | 1.158 | 106 | .757 | .931 | 17.030 | | 176 | .887 | | .160 | |
| 37 | .799 | .871 | 6.118 | .151 | 107 | .916 | | .189 | .022 | 177 | 28.046 | .946 | .319 | |
| 38 | .957 | .873 | .274 | .145 | 108 | 17.079 | | .348 | | 178 | .205 | | .478 | .003 |
| 39 | 6.115 | .875 | .430 | .139 | 109 | .234 | | .507 | .021 | 179 | .364 | | .637 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **40** | .274 | 0.877 | .586 | .134 | **110** | .393 | 632 | .666 | | **180** | .523 | | .796 | |
| 41 | .432 | .879 | .742 | 1.129 | 111 | .552 | | .825 | | 181 | .682 | | .955 | |
| 42 | .590 | .881 | .899 | .124 | 112 | .711 | | .984 | .020 | 182 | .841 | .947 | 29.114 | |
| 43 | .749 | .883 | 7.656 | .120 | 113 | .870 | | 18.143 | | 183 | 29.000 | | .273 | .002 |
| 44 | .907 | .885 | .213 | .116 | 114 | 18.029 | | .302 | | 184 | .159 | | .432 | |
| 45 | 7.065 | .887 | .371 | .112 | 115 | .188 | 633 | .461 | 019 | 185 | .318 | | .591 | |
| 46 | .224 | .889 | .528 | 1.108 | 116 | .347 | | .620 | | 186 | .477 | | .750 | |
| 47 | .382 | .890 | .685 | .104 | 117 | .506 | | .779 | | 187 | .636 | .948 | .909 | |
| 48 | .541 | .891 | .843 | .100 | 118 | .665 | | .938 | .018 | 188 | .795 | | 30.068 | |
| 49 | .699 | .892 | 8.001 | .097 | 119 | .824 | | 19.097 | | 189 | 954 | | .227 | .001 |
| **50** | .858 | 0.893 | .159 | .094 | **120** | .983 | 934 | .256 | | **190** | 30.113 | | .386 | |
| 51 | 8.016 | .895 | .316 | 1.091 | 121 | 19.142 | | .415 | .017 | 191 | .272 | | .545 | |
| 52 | .175 | .896 | .473 | .088 | 122 | .301 | | .574 | | 192 | .431 | .949 | .704 | |
| 53 | .353 | .897 | .630 | .085 | 123 | .460 | | .733 | | 193 | .590 | | .863 | |
| 54 | .492 | .898 | .787 | .082 | 124 | .619 | | .892 | .016 | 194 | .749 | | 31.022 | |
| 55 | .650 | .899 | .945 | .080 | 125 | .778 | .935 | 20.051 | | 195 | .908 | | .181 | 1.000 |
| 56 | .809 | .900 | 9.102 | 1.078 | 126 | .937 | | .210 | | 196 | 31.067 | | .340 | |
| 57 | .967 | .901 | .260 | .076 | 127 | 20.090 | | .369 | | 197 | .226 | | .499 | |
| 58 | 9.126 | .902 | .418 | .074 | 128 | .255 | | .528 | .015 | 198 | .385 | .950 | .658 | |
| 59 | .284 | .903 | .576 | .072 | 129 | .414 | | .687 | | 199 | .544 | | .817 | |
| **60** | .443 | 0.904 | .734 | .070 | **130** | .573 | .936 | .846 | | **200** | .703 | | .976 | |
| 61 | .602 | .905 | .892 | 1.068 | 131 | .732 | | 21.005 | | 201 | .862 | | 32.135 | 0.999 |
| 62 | .761 | .906 | 10.051 | .066 | 132 | .891 | | .164 | .014 | 202 | 32.021 | | .294 | |
| 63 | .920 | .907 | .209 | .064 | 133 | 21 050 | | .323 | | 203 | .140 | | .453 | |
| 64 | 10.079 | .908 | .368 | .062 | 134 | .209 | .937 | .482 | | 204 | .339 | | .612 | |
| 65 | .238 | .909 | .526 | .060 | 135 | .368 | | .641 | | 205 | .498 | | .771 | |
| 66 | .397 | .910 | .685 | 1 059 | 136 | .527 | | .800 | 013 | 206 | .657 | .951 | .930 | |
| 67 | .556 | .911 | .843 | .058 | 137 | .686 | | .959 | | 207 | .816 | | 33.189 | .998 |
| 68 | .715 | .912 | 11 002 | .057 | 138 | .845 | | 22.118 | | 208 | .975 | | .248 | |
| 69 | .874 | .913 | .160 | .056 | 139 | 22.004 | .938 | .277 | .012 | 209 | 33.134 | | .407 | |
| **70** | 11.033 | 0.914 | .319 | .055 | **140** | .163 | | .436 | | **210** | .293 | | .566 | |
| 71 | .192 | .914 | 11 477 | 1 054 | 141 | .322 | | .595 | | | | | | |
| 72 | .351 | .915 | .636 | .053 | 142 | .481 | | .754 | | | | | | |
| 73 | .510 | .916 | .794 | .052 | 143 | .640 | .939 | .913 | .011 | | | | | |
| 74 | .669 | .916 | .953 | .051 | 144 | .799 | | 23.072 | | | | | | |
| 75 | .828 | .917 | 12.111 | .050 | 145 | .958 | | .231 | | | | | | |
| 76 | .987 | .918 | 12.270 | 1.049 | 146 | 23.117 | | .390 | | | | | | |
| 77 | 12.146 | | .428 | .048 | 147 | .276 | | .549 | .010 | | | | | |
| 78 | .305 | .919 | .587 | .047 | 148 | .435 | .940 | .708 | | | | | | |
| 79 | .464 | | .743 | .046 | 149 | .594 | | .867 | | | | | | |

## Série C. — PARTANT D'UN MINIMUM DE 12 DENTS.

| Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. | Nombre des dents. | FACES. Rayon du lieu des centres. | FACES. Rayon de la face. | FLANCS. Rayon du lieu des centres. | FLANCS. Rayon du flanc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **80** | .627 | .934 | .898 | .089 | **150** | .757 | | 24.020 | .043 |
| | | | | | 81 | .786 | | 13.059 | .088 | 151 | .916 | | .179 | |
| 12 | 1.883 | 0.750 | | | 82 | .945 | .935 | .218 | .087 | 152 | 24.075 | .964 | .338 | |
| 13 | 2.037 | 0.761 | 7.451 | 7.137 | 83 | 13.104 | | .377 | .086 | 153 | .234 | | .497 | 1.042 |
| 14 | 2.193 | .769 | 4.861 | 4.267 | 84 | .263 | .936 | .534 | .085 | 154 | .393 | | .655 | |
| 15 | .340 | .777 | 3.925 | 3.042 | 85 | .422 | .937 | .694 | .084 | 155 | .552 | .965 | .815 | 1.041 |
| 16 | .504 | .785 | .625 | 3.531 | 86 | .581 | | .853 | .083 | 156 | .711 | | .985 | |
| 17 | .660 | .792 | .578 | 2.224 | 87 | .740 | .938 | 14.012 | .082 | 157 | .870 | | 25.134 | 1.040 |
| 18 | .816 | .799 | .587 | 2.020 | 88 | .899 | .939 | .171 | .081 | 158 | 25.029 | .966 | .293 | |
| 19 | .974 | .806 | .635 | 1.873 | 89 | 14.058 | | .331 | .080 | 159 | .188 | | .452 | 1.039 |
| **20** | 3.130 | 0.812 | .729 | .765 | **90** | .217 | .940 | .490 | .079 | **160** | .347 | | .611 | |
| 21 | .287 | .817 | .833 | .679 | 91 | .376 | .941 | .649 | .078 | 161 | .506 | .967 | .770 | |
| 22 | .444 | .822 | .948 | .611 | 92 | .535 | | .808 | .077 | 162 | .665 | | 26.928 | 1.038 |
| 23 | .601 | .827 | 4.075 | .536 | 93 | .694 | .942 | .967 | .076 | 163 | .824 | | .088 | |
| 24 | .758 | .832 | .206 | .509 | 94 | .853 | .943 | 15.125 | .075 | 164 | .983 | .968 | .247 | 1.037 |
| 25 | .915 | .836 | .342 | .470 | 95 | 15.012 | | .304 | .074 | 165 | 26.142 | | .421 | |
| 26 | 4.072 | .840 | 4.484 | .436 | 96 | .171 | .944 | .443 | .073 | 166 | .301 | | .565 | 1.036 |
| 27 | .230 | .844 | .626 | .407 | 97 | .330 | | .602 | .072 | 167 | .460 | | .724 | |
| 28 | .388 | .848 | .370 | .382 | 98 | .489 | .945 | .762 | .071 | 168 | .619 | .969 | 27.883 | 1.035 |
| 29 | .546 | .852 | .918 | .359 | 99 | .648 | | .921 | .070 | 169 | .778 | | .043 | |
| **30** | .704 | 0.856 | 5.066 | .339 | **100** | .807 | .946 | 16.080 | .069 | **170** | .937 | | .222 | 1.034 |
| 31 | .862 | .859 | .215 | .321 | 101 | .966 | | .239 | .068 | 171 | 27.096 | .970 | .361 | |
| 32 | 5.020 | .862 | .366 | .305 | 102 | 16.129 | | .398 | | 172 | .255 | | .519 | 1.033 |
| 33 | .178 | .865 | .518 | .290 | 103 | .284 | .947 | .557 | .067 | 173 | .414 | | .678 | |
| 34 | .336 | .868 | .671 | .277 | 104 | .443 | | .716 | | 174 | .573 | .971 | 2.837 | |
| 35 | .494 | .871 | .823 | .265 | 105 | .602 | | .874 | .066 | 175 | .732 | | .996 | 1.032 |
| 36 | .652 | .874 | .975 | .254 | 106 | .761 | .948 | 17.034 | | 176 | .891 | | 8.156 | |
| 37 | .810 | .876 | 6.133 | .244 | 107 | .920 | | .193 | .065 | 177 | 28.050 | .972 | .315 | 1.031 |
| 38 | .968 | .879 | .288 | .234 | 108 | 17.079 | | .352 | | 178 | .209 | | .473 | |
| 39 | 6.126 | .882 | .443 | .226 | 109 | .238 | .949 | .510 | .064 | 179 | .368 | | .632 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **40** | .284 | 0.884 | .598 | .217 | **110** | .397 | | .669 | | **180** | .527 | .973 | .791 | 1.030 |
| 41 | .442 | .886 | .753 | .210 | 111 | .556 | | .828 | .063 | 181 | .686 | | .950 | |
| 42 | .600 | .888 | .909 | .203 | 112 | .715 | .950 | .988 | | 182 | .845 | | 29 109 | 1 029 |
| 43 | .758 | .890 | 7.065 | .196 | 113 | .874 | | 18.146 | .062 | 183 | 29 004 | 974 | .268 | |
| 44 | .916 | .892 | .221 | .190 | 114 | 18.035 | .951 | .305 | | 184 | .163 | | .427 | 1.028 |
| 45 | 7.074 | .894 | .377 | .184 | 115 | .192 | | .463 | .061 | 185 | .322 | | .586 | |
| 46 | .232 | .896 | .533 | .179 | 116 | .351 | | .257 | | 186 | .481 | .975 | .745 | 1.027 |
| 47 | .390 | .898 | .089 | .174 | 117 | .510 | .952 | .622 | .060 | 187 | .640 | | .904 | |
| 48 | .548 | .900 | .845 | .160 | 118 | .669 | | .781 | | 188 | .799 | | 30.063 | |
| 49 | .706 | .902 | 8.002 | .163 | 119 | .828 | .953 | .939 | .059 | 189 | .958 | .976 | .222 | 1.026 |
| **50** | .864 | 0.904 | .959 | .160 | **120** | .987 | | 19.098 | | **190** | 30.117 | | .381 | |
| 51 | 8.022 | .906 | .310 | .156 | 121 | 19.146 | | .416 | 058 | 191 | .276 | .977 | .540 | 1.025 |
| 52 | .180 | .908 | .473 | .152 | 122 | .303 | .954 | .675 | | 192 | .435 | | .699 | |
| 53 | .338 | .910 | .630 | .148 | 123 | .464 | | .734 | .057 | 193 | .594 | | 3 .858 | |
| 54 | .497 | .911 | .788 | .145 | 124 | .623 | | .892 | | 194 | .753 | .978 | 1.017 | 1.024 |
| 55 | .656 | .912 | .946 | .142 | 125 | .782 | .955 | 20.051 | .056 | 195 | .912 | | .176 | |
| 56 | .815 | .913 | 9.103 | .138 | 126 | .941 | | .210 | | 196 | 31.071 | | .335 | 1.023 |
| 57 | .974 | .914 | .260 | .135 | 127 | 20.100 | | .368 | .055 | 197 | .230 | .979 | .494 | |
| 58 | 9.133 | .915 | .417 | .132 | 128 | .259 | 956 | .527 | | 198 | .389 | | .653 | 1.022 |
| 59 | .292 | .916 | .574 | .129 | 12 | .418 | | .686 | .054 | 199 | .548 | | .812 | |
| **60** | .451 | 0.917 | .732 | .127 | **130** | .577 | | .845 | | **200** | .707 | .980 | .971 | |
| 61 | .609 | .918 | 1 .890 | .124 | 131 | .736 | .957 | 21.003 | .053 | 201 | 3 .866 | | 32.130 | |
| 62 | .767 | .919 | 0.048 | .122 | 132 | .895 | | .162 | | 202 | 2.025 | | .289 | |
| 63 | .925 | .920 | .205 | .120 | 133 | 21.054 | | .321 | .052 | 203 | .184 | | .448 | |
| 64 | 10.083 | .921 | .363 | .118 | 134 | .213 | .958 | .480 | | 204 | .343 | | .607 | |
| 65 | .242 | .922 | .521 | .116 | 135 | .372 | | .639 | .051 | 205 | .502 | | .766 | |
| 66 | .401 | .923 | .679 | .114 | 136 | .531 | .959 | .798 | | 206 | .661 | | .925 | |
| 67 | .560 | .924 | .837 | .112 | 137 | .690 | | .956 | 1.050 | 207 | .820 | | 33.084 | |
| 68 | .719 | .925 | .995 | .110 | 138 | .849 | | 22 115 | | 208 | .979 | | .243 | |
| 69 | .878 | .926 | 11.153 | .108 | 139 | 22.008 | .960 | .273 | .049 | 209 | 33 138 | | .402 | |
| 70 | 11.037 | 0.927 | .312 | .106 | 140 | .167 | | .432 | .048 | **210** | .297 | | .561 | |
| 71 | 11.196 | .928 | 11.470 | 1.104 | 141 | .326 | | .591 | | 211 | .456 | | .720 | |
| 72 | .355 | .929 | .630 | .102 | 142 | .485 | .961 | .750 | 1.047 | 212 | .615 | | 3 .879 | |
| 73 | .514 | .930 | .788 | .100 | 143 | .644 | | .908 | | 213 | .774 | | 4.038 | |
| 74 | .673 | .930 | .947 | .098 | 144 | .803 | | 23 067 | .046 | 214 | .933 | | .197 | |
| 75 | .832 | 931 | 12.105 | .096 | 145 | .962 | .962 | .226 | | 215 | 34.092 | | .356 | |
| 76 | 11 991 | .932 | 12.264 | 1.094 | 146 | 23.121 | | .384 | 1.045 | | | | | |
| 77 | 12 150 | | .423 | .092 | 147 | .280 | | .543 | | | | | | |
| 78 | .300 | .933 | .581 | .091 | 148 | .439 | | .701 | .044 | | | | | |
| 79 | .468 | | .739 | .090 | 149 | .598 | .963 | .861 | | | | | | |

**Tableau des pas circonférentiels et**

| PAS | | HAUTEUR DE LA DENT | | | PAS | | HAUTEUR DE LA DENT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Circonférentiel | Diamétral | Diamètre primitif à extérieur | Diamètre primitif à fond de dent | Totale | Circonférentiel | Diamétral | Diamètre primitif à extérieur | Diamètre primitif à fond de dent | Totale |
| 3 | 0,954 | 0,954 | 1,104 | 2,058 | 13 | 4,13 | 4,13 | 4,78 | 8,91 |
| 3,1416 | 1 | 1 | 1,15 | 2,15 | 13,35 | 4,25 | 4,25 | 4,91 | 9,16 |
| 3.5 | 1,114 | 1,114 | 1,289 | 2,403 | 13,5 | 4,29 | 4,29 | 4,96 | 9,25 |
| 3,93 | 1,25 | 1,25 | 1,44 | 2,69 | 14 | 4,45 | 4,45 | 5,15 | 9,60 |
| 4 | 1,27 | 1,27 | 1,47 | 2,74 | 14,14 | 4,5 | 4,5 | 5,20 | 9,70 |
| 4,5 | 1,43 | 1,43 | 1,65 | 3,08 | 14,5 | 4 61 | 4,61 | 5,33 | 9,94 |
| 4,71 | 1,5 | 1,5 | 1,73 | 3,23 | 14,92 | 4,75 | 4,75 | 5,49 | 10,24 |
| 5 | 1,59 | 1,59 | 1,84 | 3,45 | 15 | 4,77 | 4,77 | 5,52 | 10,29 |
| 5,5 | 1,75 | 1,75 | 2,02 | 3,77 | 15,5 | 4,93 | 4,93 | 5,74 | 10,77 |
| 6 | 1,90 | 1,90 | 2,20 | 4,10 | 15,71 | 5 | 5 | 5,78 | 10,78 |
| 6,28 | 2 | 2 | 2,31 | 4,31 | 16 | 5,09 | 5,09 | 5,89 | 10,98 |
| 6,5 | 2,06 | 2,06 | 2,38 | 4,44 | 16,5 | 5,25 | 5,25 | 6,07 | 11,32 |
| 7 | 2,23 | 2,23 | 2,58 | 4,81 | 17 | 5,41 | 5,41 | 6,26 | 11,67 |
| 7,5 | 2,38 | 2,38 | 2,75 | 5,13 | 17,28 | 5,5 | 5,5 | 6,36 | 11,86 |
| 7,85 | 2,5 | 2,5 | 2,89 | 5,39 | 17,5 | 5,57 | 5,57 | 6,44 | 12,01 |
| 8 | 2,54 | 2,54 | 2,94 | 5,48 | 18 | 5,73 | 5,73 | 6,63 | 12,36 |
| 8,5 | 2,70 | 2,70 | 3,12 | 5,82 | 18,5 | 5,88 | 5,88 | 6,80 | 12,68 |
| 8,64 | 2,75 | 2,75 | 3,18 | 5,93 | 18,86 | 6 | 6 | 6,94 | 12,94 |
| 9 | 2,86 | 2,86 | 3,31 | 6,17 | 19 | 6,05 | 6,05 | 7 | 13,05 |
| 9,42 | 3 | 3 | 3,47 | 6,47 | 19,5 | 6,20 | 6,20 | 7,17 | 13,37 |
| 9,5 | 3,02 | 3,02 | 3,49 | 6,51 | 20 | 6,36 | 6,36 | 7,36 | 13,72 |
| 10 | 3,18 | 3,18 | 3,68 | 6,86 | 20,5 | 6,525 | 6,525 | 7,55 | 14,075 |
| 10,21 | 3,25 | 3,25 | 3.76 | 7,01 | 21 | 6,684 | 6,684 | 7,734 | 14,418 |
| 10,5 | 3,34 | 3,34 | 3,86 | 7,20 | 21,5 | 6,843 | 6,843 | 7 918 | 14,761 |
| 11 | 3,50 | 3,50 | 4,05 | 7,55 | 22 | 7 | 7 | 8,1 | 15,10 |
| 11,5 | 3,66 | 3.66 | 4,23 | 7,89 | 22,5 | 7,161 | 7,161 | 8,286 | 15,447 |
| 11,78 | 3.75 | 3,75 | 4.33 | 8,08 | 23 | 7,321 | 7,321 | 8,471 | 15,792 |
| 12 | 3,82 | 3,82 | 4,42 | 8,24 | 23,5 | 7,48 | 7,48 | 8,655 | 16,135 |
| 12,5 | 3,98 | 3,98 | 4,60 | 8,58 | 24 | 7,639 | 7,639 | 8,839 | 16,478 |
| 12,57 | 4 | 4 | 4,62 | 8,62 | 24,5 | 7,798 | 7,798 | 9,023 | 16,821 |

**diamétraux avec hauteur de la dent** (LEJEUNE).

| PAS | | HAUTEUR DE LA DENT | | | PAS | | HAUTEUR DE LA DENT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Circonférentiel | Diamétral | Diamètre primitif à extérieur | Diamètre primitif à fond de dent | Totale | Circonférentiel | Diamétral | Diamètre primitif à extérieur | Diamètre primitif à fond de dent | Totale |
| 25 | 7,957 | 7,957 | 9,207 | 17,164 | 37,7 | 12 | 12 | 13,88 | 25,88 |
| 25,14 | 8 | 8 | 9,25 | 17,25 | 38 | 12,095 | 12,095 | 13,995 | 26,09 |
| 25,5 | 8,116 | 8,116 | 9,391 | 17,507 | 38,5 | 12,254 | 12,254 | 14,179 | 26,433 |
| 26 | 8,276 | 8,276 | 9,576 | 17,852 | 39 | 12,414 | 12,414 | 14,364 | 26,778 |
| 26,5 | 8,435 | 8,435 | 9,760 | 18,195 | 39,5 | 12,573 | 12,573 | 14,548 | 27,121 |
| 27 | 8,594 | 8,594 | 9,944 | 18,538 | 40 | 12,732 | 12,732 | 14,732 | 27,464 |
| 27,5 | 8,753 | 8,753 | 10,128 | 18,881 | 40,5 | 12,891 | 12,891 | 14,916 | 27,807 |
| 28 | 8,912 | 8,912 | 10,312 | 19,224 | 40,84 | 13 | 13 | 15,04 | 28,04 |
| 28,27 | 9 | 9 | 10.41 | 19,41 | 41 | 13,05 | 13,05 | 15,10 | 28,15 |
| 28,5 | 9,071 | 9,071 | 10,496 | 19,567 | 41,5 | 13,209 | 13,209 | 15,284 | 28,493 |
| 29 | 9,23 | 9,23 | 10,68 | 19,91 | 42 | 13,368 | 13,368 | 15,468 | 28,836 |
| 29,5 | 9,39 | 9,39 | 10,865 | 20,255 | 42,5 | 13,528 | 13,528 | 15,653 | 29,181 |
| 30 | 9,549 | 9,549 | 11,049 | 20,598 | 43 | 13,687 | 13,687 | 15,837 | 29,524 |
| 30,5 | 9,708 | 9,708 | 11,233 | 20,941 | 43,5 | 13,846 | 13,846 | 16,021 | 29,867 |
| 31 | 9,867 | 9,867 | 11,417 | 21,284 | 44 | 14 | 14 | 16,2 | 30,2 |
| 31,42 | 10 | 10 | 11,57 | 21,57 | 44,5 | 14,164 | 14,164 | 16,389 | 30,553 |
| 31,5 | 10,02 | 10,02 | 11,595 | 21,615 | 45 | 14,323 | 14,323 | 16,573 | 30,896 |
| 32 | 10,185 | 10,185 | 11,785 | 21,970 | 45,5 | 14,483 | 14,483 | 16,758 | 31,241 |
| 32,5 | 10,345 | 10,345 | 11,970 | 22,315 | 46 | 14,642 | 14,642 | 16,942 | 31,584 |
| 33 | 10,5 | 10,5 | 12,15 | 22,65 | 46,5 | 14,801 | 14,801 | 17,126 | 31,927 |
| 33,5 | 10,663 | 10,663 | 12,338 | 23,001 | 47 | 14,96 | 14,96 | 17,31 | 32,27 |
| 34 | 10,822 | 10,822 | 12,522 | 23,344 | 47,12 | 15 | 15 | 17,38 | 32,38 |
| 34,5 | 10,981 | 10,981 | 12,706 | 23,687 | 47,5 | 15,119 | 15,119 | 17,494 | 32,613 |
| 34,56 | 11 | 11 | 12,72 | 23,72 | 48 | 15,278 | 15,278 | 17,678 | 32,956 |
| 35 | 11,14 | 11,14 | 12,89 | 24,03 | 48,5 | 15,437 | 15,437 | 17,862 | 33,299 |
| 35,5 | 11,299 | 11,299 | 13,074 | 24,373 | 49 | 15,597 | 15,597 | 18,047 | 33,644 |
| 36 | 11,459 | 11,459 | 13,259 | 24,718 | 49,5 | 15,756 | 15,756 | 18,231 | 33,987 |
| 36,5 | 11,618 | 11,618 | 13,443 | 25,061 | 50 | 15,915 | 15,915 | 18,415 | 34,33 |
| 37 | 11,777 | 11,777 | 13,627 | 25,404 | 50,27 | 16 | 16 | 18,51 | 34,51 |
| 37,5 | 11,936 | 11,936 | 13,811 | 25,747 | | | | | |

# RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

La théorie de la résistance des matériaux est une des plus controversées, mais elle est indispensable au constructeur à qui elle prête au moins d'utiles méthodes de comparaison à défaut de solutions plus complètes. Nous ne donnerons ici que les formules et tableaux qui servent à la pratique courante.

*En principe général :* 1° Longtemps avant leur point de rupture, les matériaux cèdent à l'effort qui les déforme, d'abord avec élasticité, c'est-à-dire en revenant à leurs dimensions primitives, puis en subissant une déformation permanente. Dans les arts mécaniques, il faut, sauf pour le cas d'une élasticité voulue (exemple pour les ressorts), résister non-seulement à la rupture, mais à la moindre déformation, et par conséquent, on compte par unité de section à peine $^1/_3$ de l'effort qui produirait la rupture, surtout avec les matériaux qui, naturellement peu élastiques, risquent d'être *forcés* au moindre choc accidentel.

2° Les organes mécaniques doivent être proportionnés non-seulement pour leur résistance normale, mais aussi pour les chocs ou autres résistances accidentelles qui peuvent survenir même rarement. C'est ainsi qu'à égalité de force les organes d'une machine à vapeur sont plus forts dans une forge que dans une filature, ou dans un navire de mer que dans un bateau de rivière.

3° Certains matériaux, le fer par exemple, offrent une résistance relative qui diminue avec l'accroissement des sections, d'où il suit que pour eux on compte par unité de section une résistance plus faible dans les grosses pièces que dans les petites.

4° La résistance des matériaux donnés peut varier non-seulement avec leur composition intime, souvent très-variable, mais selon une infinité de circonstances de fabrication, âge, provenances, etc. ; d'où il suit que les tableaux du genre de ceux qui vont être relatés ne sont d'une exactitude absolue que pour des matériaux tout à fait identiques à ceux qui ont

subi les expériences mentionnées et ne peuvent être considérés, en général, que comme des moyennes à forcer ou atténuer suivant les circonstances qu'un habile ingénieur appréciera.

Ceci posé, les matériaux ont à résister : 1° à la compression ou écrasement ; 2° à la traction ou allongement ; 3° à la flexion transversale ; 4° à la torsion. Souvent une pièce de machine subit à la fois plusieurs de ces actions déformatrices et il faut la proportionner de façon à tenir compte de cette superposition d'efforts.

---

## RÉSISTANCE A LA TRACTIO

Une barre soumise à un effort de traction s'allonge d'une certaine quantité, variable pour chaque nature de corps, mais proportionnelle jusqu'à la limite d'élasticité, pour une même matière, à la longueur de la barre et à l'effort de traction, et en raison inverse de la section de cette barre.

On appelle limite d'élasticité le plus grand allongement que puisse prendre une barre, sous l'influence d'une charge croissante, sans cesser de reprendre sa longueur primitive quand la charge n'agit plus sur elle.

L'allongement que prend une barre est donné par la formule :

$$\frac{P}{A} = E\,i,$$

dans laquelle P est l'effort qui agit sur la barre ; A la section transversale du corps ; $\frac{P}{A}$, l'effort par unité de section ; $i$, l'allongement par chaque mètre de longueur de la barre, E, le *module* ou *coefficient d'élasticité*, quantité constante pour une même nature de corps.

L'effort qui produit la rupture d'une barre est donné par la formule :

$$P = A\,f.$$

P, poids qui produit la rupture ; A, section de la barre ; $f$, effort nécessaire pour rompre une barre de même nature que la pièce et dont la section est l'unité prise pour exprimer A.

Le tableau suivant donne pour différents corps les valeurs moyennes de E, ainsi que les valeurs de l'allongement et de la charge à la limite d'élasticité, d'après les documents les plus récents.

| NATURE des MATÉRIAUX. | ALLONGEMENT par mètre de longueur à la limite d'élasticité $l$. | CHARGE en kilogrammes à la limite d'élasticité par millimètre carré $R = El$. | COEFFICIENT d'élasticité E. |
|---|---|---|---|
| | mètres. | kilogr. | |
| Chêne | 0,00167 | 2 | 1200 |
| Sapin jaune ou blanc | 0,00117 | 2,17 | 1854 |
| Sapin rouge ou pin | 0,00210 | 3,15 | 1500 |
| Mélèze ou larix | 0,00192 | 1,73 | 900 |
| Hêtre rouge | 0,00175 | 1,63 | 930 |
| Frêne | 0,00113 | 1,27 | 1120 |
| Orme | 0,00242 | 2,35 | 970 |
| Fer doux de petites dimensions tréfilé | 0,00080 | 14,75 | 18000 |
| Fers en barres | 0,00066 | 12,205 | 20000 |
| Fers du Berry | » | » | 20800 |
| Acier d'Allemagne très-bon | 0,00120 | 25,00 | 21000 |
| Acier fondu très-fin, trempé | 0,000222 | 66,00 | 30000 |
| Acier fondu étiré | » | » | 17000 à 19500 |
| Fonte grain fin | 0,00083 | 10,00 | 12000 |
| Fonte grise ordinaire | 0,00078 | 6,00 | 9096 |
| Fils de cuivre | » | » | 12000 |
| Fils de laiton | 0,00135 | 15,00 | 10000 |
| Laiton fondu | 0,00076 | 4,80 | 6450 |
| Bronze de canon | 0,00063 | 2,00 | 3200 |
| Fils de plomb pur | 0,00067 | 0,40 | 600 |
| Fils de plomb impur | 0,00050 | 0,40 | 800 |
| Plomb fondu | 0,00210 | 1,00 | 500 |
| Etain | » | » | 3200 |
| Zinc | » | » | 9600 |
| Or | » | » | 8131 |
| Argent | » | » | 5585 |
| Platine | » | » | 17044 |
| Cuir de veau | » | » | 391 |
| Cuir tanné | » | » | 381 |
| Cuir blanc de cheval | » | » | 748 |
| Cuir de vache | » | » | 683 |

On a reconnu qu'il ne fallait pas charger, d'une manière permanente :

Les *bois* de plus de $^1/_{10}$ de la charge de rupture;
Le *fer* — $^1/_3$ de la charge de rupture;
Le *fer* — $^1/_6$, quand les constructions doivent être de grande durée;
La *fonte* — $^1/_4$, quand les constructions doivent être de grande durée.

Le cuivre laminé et le plomb commencent à s'étendre sous des charges permanentes de peu supérieures à la moitié de celles de rupture.

Le recuit enlève au *fil de fer* et au *fil de laiton* à peu près la moitié de leur résistance.

POIDS QUE PEUVENT SUPPORTER DIVERS SOLIDES, SOUMIS A UN EFFORT DE TRACTION LONGITUDINALE.

Nombre de kilogrammes dont on peut charger avec sécurité chaque centimètre carré de la section transversale.

| DÉSIGNATION DES CORPS. | TRACTION longitudinale. | DÉSIGNATION DES CORPS. | TRACTION longitudinale. |
|---|---|---|---|
| | kil. | | kil. |
| Chêne fort | 196 | Fonte grise, si elle n'est pas exposée à des chocs. | 350 |
| Chêne faible | 160 | Métal de canon | 12 |
| Sapin | 167 | Cuivre battu | 123 |
| Frêne | 240 | Cuivre fondu | 66 |
| Hêtre | 160 | Cuivre jaune fin | 62 |
| Buis | 200 | Etain fondu | 16 |
| Poirier | 138 | Plomb fondu | 6 |
| Peuplier | 25 | Corde sèche en chanvre | 125 |
| Fer forgé de petit échantillon, fil de fer 1re qualité. | 1000 | Corde mouillée | 82 |
| Fer forgé de dimensions ordinaires | 650 | Corde goudronnée | 95 |
| Fer forgé de 0m,06 de côté et au-dessus | 400 | Courroie en cuir noir | 25 |
| Tôle dans le sens du laminage | 700 | Brique très-dure | 2 |
| Tôle dans le sens perpendiculaire au laminage | 600 | Pierre calcaire | 6 |
| Chaîne ordinaire en fer | 2000 | Plâtre | 0.40 |
| Chaîne étançonnée | 3000 | Béton ou bon mortier de 18 mois | 0.90 |
| | | Mortier ordinaire de 18 mois | 0.30 |

M. Hodgkinson a trouvé qu'une barre tirée en dehors de son axe de figure peut perdre les $^2/_3$ de sa résistance.

*Cordes, cordages.* — Les cordages se composent de fils appelés *fils de caret*, dont le diamètre varie de 1 à 6 millimètres, en brins de chanvre de diverses longueurs.

Avec les fils de caret on forme la *ficelle* contenant 2 fils de caret; les *merlins* ou *lignes* contenant 3 fils de caret; les *tourons* ou *torons* contenant de 2 à 90 fils de caret, qui servent eux-mêmes à fabriquer les *aussières*, dont le diamètre varie entre 90 et 186 millimètres.

Pour les cordes, la charge permanente peut être la moitié de la charge de rupture; la rupture est précédée d'un allongement $= {}^1/_6$ de la longueur précédente; cet allongement n'est que de $^1/_{10}$ si l'effort n'est que la moitié de la charge maxima.

Suivant Coulomb, on ne doit jamais charger les cordes au-delà de $^1/_5$ de la charge produisant la rupture, soit de 40 kilogrammes par fil de caret de 6 millimètres de diamètre.

On peut calculer le diamètre $d$ en centimètres d'une corde devant offrir une résistance P par la formule :

$$d = 0{,}113 \sqrt{P}.$$

Les cordes mouillées perdent $^1/_3$ de leur résistance.

Les cordes goudronnées n'ont que $^1/_3$ à $^3/_4$ de la résistance des cordes blanches de même diamètre.

Ci-après un tableau donnant les dimensions et les poids des cordes employées dans la marine.

RÉSISTANCE ET POIDS DES CORDES MARINES
(Tableau recueilli par A. Ortolan).

| NOM DES CORDAGES. | DIAMÈTRE en millimètres. | CORDAGE blanc sec. Au plus. | CORDAGE blanc sec. Au moins. | CORDAGE blanc mouillé. Au plus. | CORDAGE blanc mouillé. Au moins. | CORDAGE goudronné. Au plus. | CORDAGE goudronné. Au moins. | POIDS du mètre de longueur. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. |
| Ligne | | 144 | 96 | 96 | 64 | 106 | 72 | |
| Cordage à main | 17 | 1280 | 920 | 920 | 614 | 1035 | 790 | 0.235 |
| Vingtaines | 27 | 3498 | 2332 | 2332 | 1553 | 2624 | 1749 | 0.593 |
| Haubans | 34 | 5548 | 3700 | 3700 | 2467 | 4161 | 2775 | 0.917 |
| Câbleaux | 47 | 10603 | 7069 | 7069 | 4713 | 7953 | 5030 | 1.797 |
| | 54 | 13992 | 9332 | 9332 | 6222 | 9748 | 6999 | 2.370 |
| | 66 | 20908 | 13940 | 13940 | 9293 | 16126 | 10424 | 3.543 |
| | 81 | 31492 | 20996 | 20996 | 13997 | 23579 | 15787 | 5.345 |
| | 89.9 | 32400 | 21600 | 24600 | 15400 | 24300 | 16150 | 6.60 |
| | 97 5 | 39000 | 26000 | 26000 | 17335 | 29251 | 19501 | 7.75 |
| Aussières | 105.7 | 42560 | 28445 | 28445 | 18955 | 31693 | 21329 | 9.19 |
| | 116.0 | 46314 | 30876 | 30876 | 20584 | 34616 | 23078 | 10.97 |
| | 129.1 | 53627 | 35751 | 35751 | 23835 | 40220 | 26814 | 13 56 |
| | 137.3 | 63376 | 42252 | 42252 | 28168 | 47533 | 31689 | 15.30 |
| | 148.3 | 73130 | 48750 | 48750 | 32501 | 54846 | 36564 | 17 86 |
| | 160 6 | 85314 | 56876 | 56876 | 37918 | 63988 | 42656 | 20 97 |
| | 186.0 | 97502 | 65002 | 65001 | 43335 | 72126 | 48752 | 28.18 |

EFFORT DE TRACTION DES CHAINES EN FER
(Les deux premières expérimentées par Duhamel, les autres par Brunton).

| DIAMÈTRE en millimètres du fer des maillons. | EFFORT Pour les chaines étançonnées | EFFORT Pour les chaines non étançonnées. | DIAMÈTRE en millimètres du fer des maillons. | EFFORT Pour les chaines étançonnées. | EFFORT Pour les chaines non étançonnées. |
|---|---|---|---|---|---|
| | kil. | kil. | | kil. | kil. |
| 5 | 784 | 588 | 26 | 21200 | 15900 |
| 8 | 2010 | 1507 | 28.5 | 26407 | 19807 |
| 10 | 3140 | 2355 | 31.5 | 32501 | 24375 |
| 12 | 4523 | 2392 | 33 | 35548 | 26661 |
| 14 | 6156 | 4617 | 34.5 | 38595 | 28946 |
| 16 | 8042 | 6031 | 38 | 44699 | 33516 |
| 18 | 10160 | 7250 | 41 | 52814 | 39610 |
| 20 | 12564 | 9423 | 44.2 | 60939 | 45704 |
| 22 | 15200 | 11400 | 47.3 | 71095 | 53321 |
| 24 | 18092 | 13659 | 50.4 | 81252 | 60940 |

*Câblés en fil de fer.* — Ils peuvent être soumis à un effort = $^1/_5$ de la résistance absolue, pourvu qu'il n'y ait pas de chocs; leur section est en général moitié de celle d'un câble en chanvre pouvant supporter un effort égal.

FORCE DES CABLES EN FIL DE FER ET A AME DE CHANVRE
(Tableau recueilli par A. ORTOLAN).

| DIAMÈTRE en millimètres. | POIDS du mètre de longueur. | FORCE à l'emploi. | DIAMÈTRE en millimètres. | POIDS du mètre de longueur. | FORCE à l'emploi. |
|---|---|---|---|---|---|
| | kil. | | | kil. | |
| 26 | 2 « | 2.500 | 18 | 1 » | 1.500 |
| 24 | 1 65 | 2.250 | 16 | 0 75 | 1.000 |
| 20 | 1 20 | 1.750 | » | » » | » |

COMPARAISON ENTRE LES CABLES EN CHANVRE ET EN FER
(Voir LOVE, *Propriété de la fonte, du fer et de l'acier*).

| RANG DU BATIMENT (Nomenclature usitée lors de la substitution des câbles-chaines aux câbles en chanvre). | CABLES EN CHANVRE. | | | | CABLES-CHAINES EN FER. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Circonférence en centimètres. | Diamètre en centimètres. | Poids de 100 mètres de longueur. | Prix du kilog. | Diamètre en centimètres. | Poids de 100 mètres de longueur. | Poids du kilog. | Force d'épreuve en tonnes de 100 kilog. |
| | | | kil. | fr. | | | kil. | tonn. |
| Vaisseaux { 1er et 2e rang | 66 | 21.00 | 3500 | 1.17 | 5.60 | 6873 | 0.70 | 77 |
| Vaisseaux { 3e rang | 65 | 20.70 | 3392 | » | 5.20 | 5863 | 0.71 | 71.5 |
| Vaisseaux { 4e » | 60 | 19.10 | 2895 | » | 5.00 | 5550 | 0.72 | 61 |
| Frégates. { 1er rang | 60 | 19.10 | 2895 | » | 5.00 | 5550 | 0.72 | 61 |
| Frégates. { 2e » | 48 | 15.30 | 1852 | » | 4.60 | 4700 | 0.72 | 56 |
| Frégates. { 3e » | 46 | 14.60 | 1700 | » | 4.20 | 3851 | 0.72 | 46.5 |
| Corvettes. { 1re classe | 40 | 12.70 | 1288 | » | 3.80 | 3187 | 0.72 | 38.5 |
| Corvettes. { 2e » | 38 | 12.10 | 1161 | » | 3.40 | 2502 | 0.73 | 31 |
| Bricks. { 1re classe | 35 | 11.10 | 985 | » | 3.20 | 2379 | 0.74 | 27 |
| Bricks. { 2e » | 29 | 9.20 | 676 | » | 2.80 | 1797 | 0.72 | 21 |
| Canonnières, bricks, goëlettes de 6 | 23 | 7.60 | 426 | » | 2.40 | 1392 | 0.69 | 15.5 |
| Goëlettes de 4 | » | 6.40 | 322 | » | 2.00 | 953 | 0.73 | 10.5 |

## Dimensions, poids approximatifs et résistances des câbles ronds

(*Art de l'Ingénieur*).

| DIAMÈTRES des câbles en mètres. | FER. | | ACIER. | | CUIVRE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | POIDS du mètre linéaire de chaque câble. | TENSION sous laquelle chaque câble peut rompre, en kilogr. | POIDS du mètre linéaire de chaque câble. | TENSION sous laquelle chaque câble peut rompre, en kilogr. | POIDS du mètre linéaire de chaque câble. | TENSION sous laquelle chaque câble peut rompre, en kilogr. |
| m. | k. g. | k. | k. g. | k. | k. g. | k. |
| 0,0045 | 0,072 | 502 | 0,073 | 832 | 0,082 | 420 |
| 0,0054 | 0,104 | 724 | 0,105 | 1199 | 0,118 | 606 |
| 0,0063 | 0,142 | 985 | 0,142 | 1631 | 0.160 | 723 |
| 0,0072 | 0,185 | 1286 | 0,186 | 2631 | 0,210 | 1075 |
| 0,0081 | 0,234 | 1628 | 0,235 | 2697 | 0,265 | 1361 |
| 0,0090 | 0,289 | 2010 | 0,290 | 3330 | 0,328 | 1680 |
| 0,0099 | 0,350 | 2432 | 0,351 | 4029 | 0,396 | 2033 |
| 0,0108 | 0,417 | 2894 | 0,418 | 4794 | 0,472 | 2420 |
| 0,0117 | 0,489 | 3397 | 0,491 | 5627 | 0,566 | 2840 |
| 0,0126 | 0,567 | 3940 | 0,569 | 6526 | 0,642 | 3294 |
| 0,0135 | 0,651 | 4523 | 0,653 | 7492 | 0,737 | 3784 |
| 0,0144 | 0,741 | 5146 | 0,743 | 8524 | 0,839 | 4302 |
| 0,0162 | 0,938 | 6513 | 0,941 | 10788 | 1,062 | 5445 |
| 0,0180 | 1,158 | 8041 | 1,162 | 13319 | 1,311 | 6722 |
| 0,0198 | 1,401 | 9729 | 1,406 | 16116 | 1,586 | 8133 |
| 0,0216 | 1,667 | 11574 | 1,673 | 19179 | 1,888 | 9679 |
| 0,0243 | 2,110 | 14655 | 2,117 | 24274 | 2,389 | 12250 |
| 0,0270 | 2,605 | 18092 | 2,614 | 29968 | 2,950 | 15124 |
| 0,0306 | 3,345 | 23239 | 3,358 | 38492 | 3,789 | 19426 |
| 0,0351 | 4,402 | 30576 | 4,418 | 50646 | 4,985 | 25559 |
| 0,0396 | 5,603 | 38919 | 5,623 | 64464 | 6,346 | 32533 |
| 0,0441 | 6,948 | 48267 | 6,974 | 79948 | 7,870 | 40347 |
| 0,0486 | 8,439 | 58620 | 8,470 | 97096 | 9,558 | 49001 |
| 0,0531 | 10,074 | 69979 | 10,111 | 115909 | 11,410 | 58496 |

**Acier fondu comprimé, force de traction et ductilité des différentes qualites.**

(*Art de l'Ingénieur*).

| COULEURS assignées aux différentes qualités. | FORCE de traction en kil. par mill. carré. | ALLONGEMENT ou ductilité. | APPLICATIONS de la qualité d'acier indiquée. |
|---|---|---|---|
| Rouge. . . . . | 60 k. | 32 0/0 | Chaudières. — Bielles. —Cylindres hydrauliques. — Arbres coudés, arbres de couché. |
| Bleu. . . . . | 72 | 24 | Chemises de cylindres. — Tiroirs de locomotives, chabottes pour marteaux et machines à river. |
| Brun. . . . . | 87 | 17 | Outils à percer la tôle. Poinçons, cisailles, tarauds. |
| Jaune . . . . . | 102 | 10 | Outils à planer, dresser ou tourner. |
| Alliage spécial avec Tungstène. | 108 | 14 | Applications spéciales. |

RÉSISTANCE ET ALLONGEMENT DES COURROIES EN CUIR.

On limite à $0^k,25$ par millimètre carré l'effort que peut supporter une courroie de transmission sans subir un allongement trop rapide.

Toutes choses égales d'ailleurs, la largeur des courroies est proportionnelle au nombre de chevaux transmis et en raison inverse de la vitesse.

LARGEUR DES COURROIES.

On suppose que l'épaisseur égale 1 centimètre et que l'arc embrassé de la poulie ou tambour est la moitié de la circonférence entière.

| VITESSE par seconde en mètres. | LARGEUR POUR LES FORCES EN CHEVAUX. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Chevaux. 0,10 | 0,20 | 0,5 | 0,9 | 1 | 2 | Chevaux. 3 |
| | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. |
| 0m30 | 68 | 132 | 328 | » | » | » | » |
| 0 50 | 44 | 88 | 220 | 394 | » | » | » |
| 0 60 | 34 | 66 | 164 | 296 | » | » | » |
| 0 80 | 26 | 53 | 132 | 237 | » | » | » |
| 1 00 | 22 | 44 | 110 | 197 | 220 | 440 | » |
| 1 10 | 19 | 38 | 94 | 170 | 188 | 377 | 565 |
| 1 30 | 17 | 33 | 82 | 148 | 165 | 329 | 494 |
| 1 50 | 15 | 29 | 73 | 132 | 147 | 293 | 440 |
| 1 60 | 13 | 26 | 66 | 19 | 132 | 264 | 396 |
| 2 00 | 11 | 22 | 55 | 99 | 110 | 220 | 330 |
| 2 30 | 9 | 19 | 47 | 85 | 94 | 188 | 283 |
| 2 60 | 8 | 17 | 41 | 74 | 82 | 165 | 247 |
| 3 00 | » | 15 | 37 | 66 | 73 | 147 | 220 |
| 3 50 | » | 13 | 33 | 55 | 66 | 132 | 198 |
| 4 00 | » | 11 | 28 | 47 | 55 | 110 | 165 |
| 4 50 | » | 9 | 24 | 41 | 47 | 94 | 141 |
| 5 | » | 9 | 22 | 39 | 44 | 88 | 132 |
| 6 | » | » | 18 | 33 | 37 | 73 | 110 |
| 7 | » | » | 16 | 28 | 33 | 66 | 99 |
| 8 | » | » | 13 | 24 | 26 | 53 | 79 |
| 10 | « | » | » | » | 22 | 44 | 66 |
| 12 | » | » | » | » | » | 35 | 55 |
| 15 | » | » | » | » | » | 29 | 44 |
| 16 | » | » | » | » | » | 26 | 40 |
| 20 | » | » | » | » | » | 22 | 33 |
| 25 | » | » | » | » | » | 17 | 26 |
| 30 | » | « | » | » | » | » | 20 |

Dans bien des cas, les largeurs des courroies peuvent descendre notablement au-dessous des nombres inscrits au tableau. Ainsi elles pourront être réduites aux 0,25 de ces nombres, s'il s'agit de transmissions générales à mouvement très-régulier : car il n'est pas très-rare de voir des outils qui exigent des courroies quatre fois plus fortes que celles qui correspondraient à leur travail moyen. En passant des transmissions générales aux transmissions particulières des outils et aux outils eux-mêmes les largeurs des courroies seront relativement plus grandes. Elles pourront encore être réduites aux 0,4 des nombres du tableau s'il s'agit d'outils à rotation continue et à travail régulier. Enfin dans le cas extrême d'outils à mouvement alternatif et à résistance très-variable, l'expérience seule peut indiquer la force des courroies.

### RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT.

*Bois.* D'après Rondelet, la résistance à l'écrasement des bois pressés dans le sens des fibres, diminue quand la hauteur augmente, et il a donné le tableau suivant :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hauteur. . . . | 1 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 |
| Résistance proportionnelle. | 1 | $\frac{5}{6}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{24}$ |

M. Hodgkinson, d'après ses expériences, a donné les formules suivantes qui sont applicables toutes les fois que la hauteur ne dépasse pas 40 à 45 fois le petit côté de la base

$$P = \frac{k b^4}{l^2}, \quad \text{et} \quad P = k \frac{a b^3}{l^2},$$

P résistance du poteau en kilogrammes; $b$ côté de la section carrée, ou petit côté de la section rectangulaire en centimètres ; $a$ grand côté de la section rectangulaire ; $l$ hauteur du poteau,

$k$ coefficient = 2565 pour le chêne fort.
— 1800 — faible.
— 2142 pour le sapin rouge et blanc fort et le pin résineux.
— 1600 — blanc faible et le pin jaune.

Rondelet estime la résistance du chêne = 385 à 462 kilogrammes par centimètre carré et celle du sapin = 439 à 462.

*Fonte.* M. Love, d'après les expériences d'Hodgkinson, a donné les formules ci-après pour le calcul des piliers en fonte. Pour piliers dont la hauteur varie entre 4 et 120 fois le diamètre, à la rupture

$$P = \frac{R}{1,45 + 0,00337 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

P charge de rupture, R résistance maximum du pilier supposé très-court; $l$ hauteur, et $d$ diamètre du pilier.

Quand la hauteur ne dépasse pas 30 fois le diamètre, on peut employer la formule

$$P = \frac{R}{0,68 + o,1 \frac{l}{d}}.$$

La résistance R est la même pour tous les piliers dont la hauteur ne dépasse pas 5 fois le diamètre.

Dans les fontes essayées par Hodgkinson, la résistance par millimètre carré a varié de 39,65 kilogrammes à 111,53 kilogrammes; on l'admet ordinairement de 88 à 100 kilogrammes.

La résistance d'un pilier à la rupture est réduite à 1/3 quand l'effort est dirigé suivant la diagonale et non suivant l'axe.

La résistance des piliers longs est trois fois plus grande quand les extrémités sont plates et perpendiculaires à l'axe et à la direction de l'effort, que quand celles-ci sont arrondies. La résistance d'un pilier dont les extrémités sont solidement fixées est la même que celle d'un pilier ayant même section et une hauteur moitié plus petite.

Le renflement des piliers vers le milieu n'augmente leur résistance que de 1/8 à 1/7.

La limite d'élasticité à la compression est à peu près la même que la limite d'élasticité à la traction.

On prend en moyenne $E = 8950$ l'unité de section étant le millimètre carré.

*Fer.* La compression du fer est proportionnelle, sensiblement à la charge, jusqu'à la charge de 14 à 18 kilogrammes par millimètre carré; le coefficient d'élasticité est en moyenne $E = 16293$, l'unité de section étant le millimètre carré. Cette valeur diffère peu de celle relative à l'extension, et on peut les supposer égales.

On voit que le fer jusqu'à cette limite à charge égale se déforme moins que la fonte ; mais au delà, sa résistance diminue très-rapidement, et, à la rupture par écrasement, il résiste trois fois moins que la fonte.

Cette résistance à la rupture par millimètre carré est égale à 38 kil. environ pour le fer laminé.

M. Love, d'après les expériences de M. Hodgkinson, a donné les formules ci-après, où les lettres ont les mêmes significations que précédemment.

Pour piliers dont la hauteur $l$ est de 10 à 180 fois le diamètre

$$P = \frac{R}{1,55 + 0,005 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

Pour des piliers dont la hauteur $l$ est de 5 à 30 fois le diamètre

$$P = \frac{R}{0,85 + 0,04 \frac{l}{d}}.$$

*Autres formules.* — Pour le cas particulier des piliers de fonte, d'après *Tom Richard*, qui a analysé et calculé avec un grand soin les expériences de *Eaton Hodgkinson*, on a pour le nombre P de kilogrammes qui *romprait* un pilier vertical cylindrique et plein en fonte, dont le diamètre est D et la hauteur est H (H et D étant exprimés en mètres):

$$P = \frac{D^{3.55}}{H^{1.7}} \times 2739024000 \text{ kilogrammes.}$$

Cette formule suppose que la hauteur est > 30 D, et le pilier se rompt alors en pliant.

Lorsque la colonne est creuse on a, dans le même cas, D étant le diamètre extérieur et $d$ celui du vide,

$$P = \frac{D^{3.55} - d^{3.55}}{H^{1.7}} \times 2750188500 \text{ kilogrammes.}$$

Si la colonne est en *fer forgé*, H étant toujours plus grand que trente diamètres, on a

$$P = \frac{D^{3.55}}{H^2} \times 5808645333 \text{ kilog.}$$

Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, les résistances à la rupture des colonnes pleines en fer forgé et en fonte sont à peu près comme 1,745 à 1,000, et les colonnes *semblables* d'un même métal présentent des résistances à la rupture qui croissent seulement comme les puissances 1,865 de leurs dimensions homologues, et non comme leurs carrés.

*Pierres, moellons, briques. grès, etc.*

Les matériaux de ce genre qui, dans la pratique, ne sont ordinairement appelés qu'à supporter des efforts de compression, ne doivent être employés en supports isolés que pour des hauteurs qui n'atteignent pas 12 fois la plus petite dimension de la base.

Il convient de ne pas faire supporter plus de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{6}$ de la ré-

sistance absolue, et même de réduire la charge de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{20}$ pour les constructions en petits matériaux.

La résistance augmente pour une section équivalente à mesure que cette section se rapproche de la forme circulaire; la résistance d'une section carrée est à celle d'une section circulaire dans le rapport de 8 à 9.

Les pierres se fendillent sous une charge = 1/2 de celle produisant l'écrasement.

RÉSISTANCE DES BRIQUES

(d'après BONNEVILLE, PAUL, A. et L. JAUNEZ, *les Produits céramiques*).

| A LA TRACTION. | EFFORT DE RUPTURE par centimètre carré de section. |
|---|---|
| Briques de Provence, très-bien cuite et d'un grain uniforme | 19k,5 |
| Briques ordinaires faibles | 8 ,0 |
| — de Bourgogne, brunes | 20 ,7 |
| — de pays (Paris) fort cuites | 11 ,9 |
| **A L'ÉCRASEMENT.** | **CHARGE par centimètre carré qui produit l'écrasement.** |
| Brique dure très-cuite | 150k |
| — rouge | 60 |
| — mal cuite | 40 |
| — de Hammersmith | 100 |
| — Flamande tendre | 18 |
| — de Bourgogne brune | 150 |
| — de Sarcelles brune | 125 |
| — de Bourgogne (Montereau) | 110 |
| — de pays (Paris) | 90 |
| — — (Herblay) | 38 ,2 |
| — — (Sarcelles) | 28 ,2 |

**Poids que peuvent supporter des solides soumis à un effort de compression, tels que les colonnes, les piliers, les étais, etc.**

Nombre de kilogrammes dont on peut charger avec sécurité chaque centimètre carré de la section transversale (moyennes diverses).

| DÉSIGNATION DES CORPS. | RAPPORT DE LA LONGUEUR A LA PLUS PETITE DIMENSION | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Au dessous de 12 | Au dessus de 12 | Au dessus de 24. | Au dessus de 48 | Au dessus de 60 |
| | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. |
| Chêne fort | 30,0 | 25,0 | 15,0 | 5,0 | 2,5 |
| Chêne faible | 19,0 | 8,4 | 5,6 | » | » |
| Sapin jaune ou rouge | 37,5 | 31,0 | 18,7 | 7,5 | » |
| Sapin blanc | 9,7 | 8,2 | 4,9 | » | » |
| Fer forgé | 1000,0 | 833,0 | 500,0 | 167,0 | 84,0 |
| Fonte | 2000,0 | 1670,0 | 1000,0 | 333,0 | 167,0 |
| Basalte | 200,0 | » | » | » | » |
| Granit dur | 70,0 | » | » | » | » |
| Granit ordinaire | 40,0 | » | » | » | » |
| Marbre dur | 100,0 | » | » | » | » |
| Marbre blanc veiné | 30,0 | » | » | » | » |
| Grès dur | 90,0 | » | » | » | » |
| Grès tendre | 0,4 | » | » | » | » |
| Brique très-dure | 12,0 | » | » | » | » |
| Brique ordinaire | 4,0 | » | » | » | » |
| Pierre calcaire très-dure | 50,0 | » | » | » | » |
| Pierre calcaire ordinaire | 30,0 | » | » | » | » |
| Lambourde de qualité inférieure | 2,3 | » | » | » | » |
| Plâtre | 6,0 | » | » | » | » |
| Béton en mortier de 18 mois | 4,0 | » | » | » | » |
| Mortier ordinaire de 18 mois | 2,5 | » | » | » | » |

| | LA LONGUEUR VALANT LA PLUS PETITE DIMENSION. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 fois. | 12 fois. | 24 fois. | 36 fois. | 48 fois. | 60 fois. |
| | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. |
| Chêne fort, pommier sauvage | 45 | 37 | 22 | 15 | 7,5 | 3,75 |
| Chêne faible | 30 | 25 | 15 | 10 | 5 | 2,5 |
| Aune | 48 | 40 | 24 | 16 | 8 | 4 |
| Frêne | 61 | 50 | 30 | 20 | 10 | 5 |
| Hêtre, sureau | 54 | 45 | 27 | 18 | 9 | 4,5 |
| Cèdre, sapin rouge | 40 | 33 | 20 | 13 | 6,6 | 3,3 |
| Sapin blanc, sycomore | 48 | 40 | 24 | 16 | 8 | 4 |
| Orme très-sec | 72 | 60 | 36 | 24 | 12 | 6 |
| Acajou, prunier | 57 | 48 | 29 | 19 | 9,5 | 4,75 |
| Peuplier, saule | 24 | 20 | 12 | 8 | 4 | 2 |
| Noyer | 42 | 35 | 21 | 14 | 7 | 3,5 |
| Fonte | 1333 | 692 | 404 | 236 | 174 | 98 |
| Fer | 800 | 491 | 434 | 364 | 296 | 239 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cuivre battu | 1449 | Pierre calcaire très-dure | 31k |
| Cuivre jaune ou laiton | 2316 | Pierre calcaire ordinaire de 10 à | 20 |
| Etain coulé | 217 | Brique très-dure | 15 |
| Plomb coulé | 108 | Brique rouge ordinaire | 5 |
| Basaltes | 200 | Plâtre | 5 |
| Granit dur | 70 | Béton en mortier (de 18 mois) | 4 |
| Granit ordinaire | 42 | Mortier ordinaire (de 18 mois) | 3 |
| Grès dur | 87 | | |
| Grès tendre | 0,4 | | |
| Marbre dur | 79 | | |
| Marbre statuaire | 31 | | |

## RÉSISTANCE A LA FLEXION TRANSVERSALE.

### 1° Équation de l'équilibre permanent.

M, Moment des forces extérieures par rapport à la section que l'on considère (moment fléchissant).

R, Effort le plus grand que l'on puisse avec sécurité faire supporter à la fibre la plus allongée ou la plus comprimée.

I, Moment d'inertie de la section par rapport à un axe mené, par le centre de gravité de cette section, perpendiculairement au plan de la flexion.

$v$, Distance entre la fibre la plus allongée ou la plus raccourcie et la ligne des fibres invariables, cette dernière ligne passant toujours par le centre de gravité du profil transversal.

E, Coefficient d'élasticité.

$r$, Rayon de courbure de la fibre moyenne fléchie.

On a $\frac{RI}{v} = M = \frac{Ei}{r}$.

R dépend de la nature du solide; $\frac{I}{v}$ du profil de sa section transversale.

### 2° Valeurs de R et expressions de $\frac{I}{v}$.

R exprimé en kilogrammes =

16k,600 pour l'acier de 1re qualité.
12 ,500 pour l'acier de qualité moyenne.
7 ,500 pour la fonte.
6 ,000 pour le fer.
0 ,600 pour le bois de chêne ou de sapin.

Ces valeurs de R, déterminées d'après l'observation de constructions éprouvées placées dans des circonstances ordinaires, se rapportent à une section de 1 mille mètre carré. On les multipliera par 4/3 pour les matériaux de choix et les constructions allégées; R (fonte) sera réduit à 3,750 pour les ponts, les sommiers de bâtiments, les tourillons de roues hydrauliques et d'arbres de transmission, et autres pièces très-fatiguées.

MOMENTS DE RÉSISTANCE $\frac{RI}{v}$ DES FERS I LAMINÉS

(Voir Jules GAUDARD, *Étude comparative de divers systèmes de ponts en fer*).

| EN MILLIMÈTRES. | | | | POIDS du mètre courant en kilogrammes. | MOMENT (1) $\frac{RI}{v}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| HAUTEUR totale. | LARGEUR des semelles. | ÉPAISSEUR de l'âme. | ÉPAISSEUR des semelles. | | |
| 100 | 43 | 5 | 6 | 9 | 171 |
| | 48 | 10 | 6 | 13 | 220 |
| 120 | 45 | 5 | 6 | 11 | 228 |
| | 52 | 12 | 7 | 17,5 | 352 |
| | 65 | 6,5 | 9 | 15 | 418 |
| 140 | 47 | 6 | 7 | 14 | 335 |
| | 51 | 10 | 7 | 18,5 | 413 |
| | 76 | 8 | 10 | 30 | 650 |
| 160 | 48 | 8 | 7 | 15 | 450 |
| | 55 | 15 | 8 | 24 | 661 |
| | 80 | 8 | 10 | 22,2 | 813 |
| 180 | 55 | 8 | 9 | 20 | 671 |
| | 63 | 16 | 9 | 31,5 | 930 |
| | 120 | 10 | 12 | 37 | 1568 |
| 200 | 65 | 8 | 10 | 22 | 938 |
| | 73 | 16 | 10 | 35 | 1257 |
| | 110 | 10 | 12 | 37,4 | 1674 |
| 220 | 64 | 8 | 10 | 26 | 1060 |
| | 72 | 16 | 10 | 40 | 1448 |
| 260 | 120 | 10 | 12 | 45 | 2550 |
| 300 | 120 | 12 | 14 | 55 | 3555 |

(1) En prenant le *mètre* pour unité linéaire et R = 6,000.000.

| SECTION TRANSVERSALE de divers profils usuels. | VALEURS DE $\frac{I}{v}$. | ÉLÉMENTS DES FORMULES. |
|---|---|---|
| Cercle plein. . . . . | $\frac{\pi r^3}{4}$ = surface × $\frac{r}{4}$ . . . . . | $r$ = rayon. |
| Cercle évidé annulairement. à parois épaisses. | $\frac{\pi (r^4 - r'^4)}{4r}$ . . . . . | $r$ = rayon extérieur. $r'$ = rayon intérieur. |
| Cercle évidé annulairement. à parois minces, $r'$ différant peu de $r$. | $\frac{\pi (r^3 - r'^3)}{4}$ . . . . . | |
| Ellipse pleine. . . . . | $\frac{\pi a b^2}{2}$ par rapport au petit axe. . . . . | $2a$, petit axe. $2b$, grand axe. |
| *idem.* | $\frac{\pi b a^2}{2}$ par rapport au grand axe. . . . . | |
| Ellipse creuse. . . . . | $\frac{\pi (a b^3 - a' b'^3)}{2b}$ par rapport au petit axe. . . . . | $2a$, petit axe extérieur. $2b$, grand axe extérieur. $2a'$, petit axe intérieur. $2b'$, grand axe intérieur. |
| *idem.* | $\frac{\pi (b a^3 - b' a'^3)}{2a}$ par rapport au grand axe. . . . . | |
| Carré plein. . . . . | $\frac{b^3}{6}$ . . . . . | $b$, côté. |
| Carré creux à parois épaisses. . | $\frac{b^4 - b'^4}{6b}$ . . . . . | $b$, côté extérieur. $b'$, côté intérieur. |
| Carré creux à parois minces, $b'$ différant peu de $b$. | $\frac{b^3 - b'^3}{6}$ . . . . . | |
| Rectangle plein. . . . | $\frac{A b}{6}$ . . . . . | $a, b$, côtés; $A = a \times b$. |

| | | |
|---|---|---|
| Rectangle creux. à parois épaisses. | $\frac{A' b^2 - A'' b'^2}{6b}$. | $a, a'$, petits côtés (extérieur et intérieur). $b, b'$, grands côtés (extérieur et intérieur). $A' = a \times b$ $A'' = a' \times b'$. |
| Rectangle creux. » parois minces, $b'$ différant peu de $b$. | $\left(\frac{A' - A''}{6}\right) b$. | |
| Croix d'équerre (fig. 1). | $\frac{a b^3 + 2 a' b'^3}{6b}$. | |
| T. Cas général (rapport indéterminé entre les dimensions) (fig. 2).. | $\frac{a z^3 - (a - a' (z - b)^3 + a' x^3}{3x}$. | |
| T. Cas particuliers. $a' = b = \frac{a}{2}$. / $b' = a$. | $\frac{a^3}{15}$. | |
| T. Cas particuliers. $a' = b = \frac{a}{5}$. / $b' = \frac{a}{2}$. | $\frac{11}{500} a^3$. | |
| T. Cas particuliers. $a' = b = \frac{a}{10}$. / $b' = a$. | $0{,}03072\, a^3$. | |
| Double T à nervures égales. Sans cornières (poutres métalliques, fondues ou laminées (fig. 3). | $\frac{a b^3 - 2 a' b'^3}{6b}$. ou $\frac{e_1 b^2}{6} + \frac{a'}{3b}(b^3 - b'^3)$. | |
| Double T à nervures égales. Avec cornières (poutres en tôle). (fig. 4). | $\frac{a b^3 - 2(a' b'^3 + a'' b''^3 + a''' b'''^3)}{6b}$. | |
| Double T à nervures inégales (fig. 5).. | $\frac{a x^3 - (a - a_1)(x - b_1)^3 + a'_1 (b - x)^3 - (a'_1 - a_1)(b - x - b_1)^3}{3x}$ | |

Fig. 1.

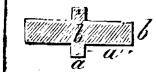
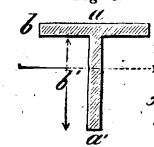



Fig. 2.




Ligne des fibres invariables.

Fig. 3.

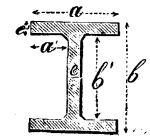



Fig. 4

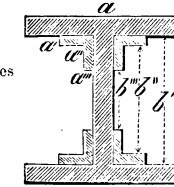
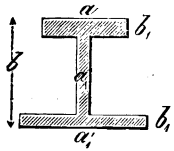



Fig. 5.




$x$ = distance du centre de gravité du profil à la plus éloignée des facos $a$ et $a_1'$.

### 3° Formules pratiques

DE L'ÉQUILIBRE PERMANENT, POUR DES SOLIDES A SECTION TRANSVERSALE CONSTANTE.

*Solide encastré par une extrémité, soumis à des efforts perpendiculaires à sa longueur* L.
(Équilibre de la section d'encastrement.)

| | |
|---|---|
| Effort P agissant à l'extrémité libre. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = PL.$ |
| Charge $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur L. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = \frac{p}{2}L^2.$ |
| Charge P, et charge $p$ par mètre, agissant dans le même sens. . . : . . . . . | $M = \frac{RI}{v} = \left(P + \frac{pL}{2}\right)L.$ |
| Charge P, et charge $p$ par mètre, agissant en sens opposés lorsque $P > \frac{1}{2}pL$. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = PL - \frac{1}{2}pL^2.$ |
| Charge P, et charge $p$ par mètre, agissant en sens opposés, lorsque $P < \frac{1}{2}pL$. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = \frac{1}{2}pL^2 - PL.$ |

*Solide encastré par une extrémité, soumis à un effort* P *à l'autre extrémité et à un effort* Q *appliqué à distance* L' *de l'encastrement, tous deux agissant dans un plan perpendiculaire à la longueur* L *du solide.*

$D = L - L'$. X, distance de l'extrémité libre à la section considérée.

| | | |
|---|---|---|
| P, Q, agissant dans le même sens. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = (P + Q)L - QD.$ | Équilibre de la section d'encastrement. |
| *idem.* , ainsi qu'une charge additionnelle de $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur L. . . . . | $M = \frac{RI}{v} = PL + QL' + \frac{1}{2}pL^2.$ | |

| | |
|---|---|
| P, Q, agissant seuls, mais en sens opposés. . . . . | Courbure nulle pour la section où $X = \frac{QD}{Q-P}$.<br>Deux courbures maxima en sens inverses :<br>1° A la section d'encastrement, $\frac{RI}{v'} = \left(Q.\frac{L-D}{L} - P\right)L$.<br>2° Au point d'application de Q, $\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v} = PD$. |
| P, Q, agissant seuls, mais en sens opposés, avec charge additionnelle de $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur L. . . . . | Courbure nulle pour la section intermédiaire où l'on a :<br>$X\,(\text{valeur positive}) = P - Q \pm \sqrt{\frac{(P-Q)^2}{p} + \frac{2QD}{p}}$.<br>Deux courbures maxima en sens inverses :<br>1° A la section d'encastrement<br>Si $PL > QL' + \frac{1}{2}pL^2$ $\left\vert \frac{RI}{v} = PL - QL' - \frac{1}{2}pL^2\right.$.<br>Si $PL < QL' - \frac{1}{2}pL^2$ $\left\vert \frac{RI}{v} = QL' + \frac{1}{2}pL^2 - PL\right.$.<br>On calcule $\frac{RI}{v}$ d'après la plus grande des deux différences.<br>2° A la section pour laquelle $X = \frac{-Q + \sqrt{Q^2 + 2QDp}}{p}$;<br>alors $\frac{RI}{v} = Q(X-D) + \frac{1}{2}pX^2 - PX$. |

*Solide posé horizontalement sur deux appuis* A, B, *distants de* 2 L, *et chargé de poids agissant perpendiculairement à sa longueur, dans un seul sens.*

P′, P″, pressions exercées respectivement sur les appuis A, B.

| | | |
|---|---|---|
| Poids 2 P placé au milieu de la longueur 2 L. . . . . | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=PL.$ | Équilibre au point d'application de la force 2 P. |
| *idem.* , et charge additionnelle de $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur 2 L. . . . . | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=\left(P+\frac{pL}{2}\right)L.$ | |
| Poids 2 P placé à distances $l$ et $l''$ des appuis A, B. . | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=\frac{Pl'l''}{L}.$ | |
| *idem.* , et charge additionnelle de $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur 2 L. . . . . | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=\frac{l'l''}{2L}\left[2P+\frac{1}{2}p(2L)\right].$ | |
| Poids $P_1 P_2 P_3 P_4$ etc., inégalement répartis aux points $A_1 A_2 A_3 A_4$ etc., à des distances $l'_1 l'_2 l'_3 l'_4$, etc., du point d'appui A et à des distances $l''_1 l''_2 l''_3 l''_4$, etc., du point d'appui B. . . . . | $P'=\frac{P_1 l'_1+P_2 l'_2+P_3 l'_3+\text{etc}\ldots}{2L}$<br>$P''=\frac{P_1 l'_1+P_2 l'_2+P_3 l'_3+\text{etc}\ldots}{2L}$<br>Au point $A_2$ pris pour exemple, on aura :<br>$\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v}=(P''-P_3-P_4-\text{etc.})l''_2+P_3 l''_3+P_4 l''_4+\text{etc}\ldots$ | |
| Charge composée de deux forces égales P, éloignées des appuis d'une même distance $l$ (Disposition très-avantageuse, fort en usage dans les roues hydrauliques). | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=Pl.$ | Équilibre au milieu de la longueur du solide. |
| Charge composée de deux forces égales P, et charge additionnelle de $p$ par mètre courant uniformément répartie sur la longueur 2 L.. . . . . | $\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=Pl+\frac{pL^2}{2}.$ | |

NOTA. — L'encastrement des deux extrémités doublerait les résistances, dans toutes les formules de cette page.

## RÉSISTANCE A L'EXPLOSION.

### Expériences faites sur la rupture de divers metaux par l'explosion de la poudre.

(*Art de l'ingénieur*).

| DESCRIPTION DES CYLINDRES. Diamètre, 32 mill. — Trou, 19 mill. Long. 100 mill. | CHARGE de poudre. | AUGMENTATION de diamètre avant la rupture. | NOMBRE de morceaux |
|---|---|---|---|
| | gr. | | |
| Fonte de fer. . . . . | 0.975 | 0.0000 | 36 |
| Fer forgé de Staffordshire.. . . . . | 6.175 | 0.0997 | 5 |
| Acier fondu comprimé n° 3. Rouge. . | 17.875 | 0.1659 | 2 |
| Acier fondu comprimé n° 3. Brun. . . | 24.125 | 0.1950 | 4 |
| WOOLWICH. TRANSFORMATION DES CANONS EN FONTE. | | | |
| **Fonte.** | | | |
| Tube extérieur, épaisseur, 0m,0046. . | 1.950 | 0.0010 | 14 |
| **Fer forgé.** | | | |
| Tube intérieur, épaisseur, 0m,00165. | 1.950 | 0.0010 | 1 |
| CONSTRUCTION DE PARSON. | | | |
| **Fonte.** | | | |
| Tube extérieur, épaisseur, 0m,0036. . | 5.200 | 0.0009 | 132 |
| **Acier fondu n° 2, jaune.** | | | |
| Tube intérieur, épaisseur, 0m,00265. | 5.200 | 0.0009 | 25 |
| CONSTRUCTION FRANÇAISE. | | | |
| **Acier fondu n° 2, jaune.** | | | |
| Tube extérieur, épaisseur, 0m,00225. | 5.850 | 0.0020 | 20 |
| **Fonte.** | | | |
| Tube intérieur, épaisseur, 0m,00400. | 5.850 | 0.0020 | 71 |
| WOLWICH. CONSTRUCTION ACTUELLE. | | | |
| **Fer forgé.** | | | |
| Tube extérieur, épaisseur, 0m,0052.. | 9.100 | 0.3080 | 7 |
| **Acier fondu n° 2, rouge.** | | | |
| Tube intérieur, épaisseur, 0m,00195. | 9.100 | 0.3080 | 1 |

## Moments de résistance $\frac{RI}{v}$ des fers I en tôle et cornières.

*(Abrégé des tableaux de l'ouvrage précité).*

| HAUTEUR totale. | AME | | 4 CORNIÈRES | | | 2 SEMELLES | | POIDS par mètre courant. | Moment de résistance pour R. = 6.000.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur. | Épaisseur. | Largeur horizontale | Largeur verticale. | Epaisseur. | Largeur | Epaisseur. | | |
| | | mill. | | | mill. | | mill. | kil. | |
| 0m.200 | 200 | 6 | 60 | 60 | 9 | » | » | 40 | 1 890 |
| | 200 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 50 | 2 320 |
| | 200 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 60 | 2 630 |
| | 200 | 10 | 110 | 70 | 10 | » | » | 69 | 3 146 |
| | 180 | 6 | 70 | 70 | 10 | 160 | 10 | 74 | 3 528 |
| | 180 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 86 | 4 078 |
| | 180 | 10 | 110 | 70 | 11 | 230 | 10 | 108 | 5 288 |
| | 160 | 10 | 100 | 70 | 10 | 250 | 20 | 135 | 6 710 |
| 0m.250 | 250 | 6 | 60 | 60 | 10 | » | » | 46 | 2 830 |
| | 250 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 59 | 3 500 |
| | 250 | 10 | 110 | 70 | 11 | » | » | 78 | 4 870 |
| | 230 | 8 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 86 | 5 455 |
| | 230 | 10 | 80 | 80 | 10 | 200 | 10 | 96 | 5 826 |
| | 210 | 10 | 70 | 70 | 10 | 150 | 20 | 104 | 6 055 |
| | 230 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 149 | 8 754 |
| | 210 | 10 | 110 | 70 | 11 | 300 | 20 | 168 | 10 864 |
| | 190 | 10 | 110 | 70 | 11 | 300 | 30 | 213 | 13 063 |
| 0m.300 | 300 | 6 | 60 | 60 | 9 | » | » | 45 | 3 365 |
| | 300 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 55 | 4 036 |
| | 300 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 61 | 4 513 |
| | 300 | 6 | 110 | 70 | 11 | » | » | 72 | 5 860 |
| | 300 | 6 | 100 | 100 | 12 | » | » | 85 | 6 125 |
| | 280 | 10 | 70 | 70 | 10 | 250 | 10 | 102 | 7 970 |
| | 280 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 108 | 8 328 |
| | 280 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 115 | 9 170 |
| | 260 | 10 | 80 | 80 | 10 | 200 | 20 | 130 | 9 724 |
| | 280 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 10 | 140 | 10 530 |
| | 260 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 20 | 145 | 11 295 |
| | 240 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 153 | 11 37[illegible] |
| | 260 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 20 | 161 | 12 866 |
| | 260 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 20 | 185 | 14 000 |
| | 240 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 206 | 16 006 |
| 0m 350 | 350 | 6 | 70 | 70 | 8 | » | » | 50 | 4 261 |
| | 350 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 57 | 5 034 |
| | 350 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 63 | 5 568 |
| | 350 | 6 | 110 | 70 | 10 | » | » | 70 | 6 618 |
| | 330 | 10 | 70 | 70 | 10 | 150 | 10 | 90 | 7 764 |
| | 330 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 98 | 8 760 |

| HAUTEUR totale. | AME | | 4 CORNIÈRES | | | 2 SEMELLES | | Poids par mètre courant. | Moment de résistance pour R. = 6.000.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur. | Épaisseur. | Largeur horizontale | Largeur verticale. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | |
| | | mill. | | | mill. | | mill. | kil. | |
| 0m.350 | 330 | 10 | 80 | 80 | 10 | 200 | 10 | 104 | 9 222 |
| | 320 | 6 | 70 | 70 | 10 | 250 | 15 | 114 | 11 298 |
| | 310 | 8 | 70 | 70 | 10 | 250 | 20 | 138 | 12 743 |
| | 330 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 10 | 143 | 12 950 |
| | 310 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 20 | 149 | 13 867 |
| | 310 | 8 | 70 | 70 | 10 | 350 | 20 | 154 | 15 716 |
| | 310 | 8 | 100 | 100 | 12 | 300 | 20 | 183 | 17 234 |
| | 310 | 8 | 100 | 100 | 12 | 350 | 20 | 199 | 19 103 |
| | 290 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 210 | 19 692 |
| | 290 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 30 | 234 | 20 964 |
| 0m.400 | 400 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 59 | 6 020 |
| | 400 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 66 | 6 663 |
| | 400 | 3 | 110 | 70 | 10 | » | » | 78 | 8 165 |
| | 400 | 10 | 100 | 100 | 12 | » | » | 102 | 9 730 |
| | 380 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 102 | 10 453 |
| | 380 | 10 | 70 | 70 | 10 | 250 | 10 | 109 | 11 594 |
| | 380 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 123 | 13 305 |
| | 380 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 10 | 139 | 14 311 |
| | 380 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 10 | 147 | 15 452 |
| | 360 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 20 | 153 | 16 512 |
| | 360 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 20 | 169 | 18 680 |
| | 340 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 190 | 20 378 |
| | 360 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 20 | 208 | 22 734 |
| | 340 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 214 | 23 460 |
| | 340 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 30 | 237 | 25 108 |
| | 340 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 30 | 261 | 28 195 |
| 0m.450 | 450 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 62 | 7 039 |
| | 450 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 68 | 7 795 |
| | 450 | 10 | 80 | 80 | 10 | » | » | 82 | 8 605 |
| | 450 | 10 | 110 | 70 | 10 | » | » | 88 | 9 125 |
| | 430 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 105 | 12 198 |
| | 430 | 10 | 80 | 80 | 10 | 200 | 10 | 112 | 12 882 |
| | 430 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 127 | 15 464 |
| | 430 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 10 | 143 | 16 734 |
| | 430 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 10 | 159 | 19 316 |
| | 390 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 175 | 19 704 |
| | 390 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 194 | 23 778 |
| | 390 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 218 | 27 312 |
| | 390 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 30 | 281 | 34 338 |
| 0m.500 | 500 | 6 | 70 | 70 | 8 | » | » | 57 | 6 889 |
| | 500 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 64 | 8 088 |
| | 500 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 72 | 8 592 |
| | 500 | 10 | 80 | 80 | 10 | » | » | 86 | 9 962 |
| | 500 | 10 | 110 | 70 | 10 | » | » | 92 | 11 397 |
| | 480 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 109 | 14 004 |
| | 480 | 10 | 80 | 80 | 10 | 200 | 10 | 115 | 14 300 |

| HAUTEUR totale. | AME | | 4 CORNIÈRES. | | | 2 SEMELLES | | Poids par mètre courant. | Moment de résistance pour R = 6.000.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur. | Épaisseur. | Largeur horizontale | Largeur verticale. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | |
| | | mill. | | | mill. | | mill. | kil. | |
| 0m,500 | 480 | 8 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 131 | 17 681 |
| | 480 | 8 | 100 | 100 | 12 | 250 | 10 | 140 | 19 222 |
| | 480 | 8 | 100 | 100 | 12 | 300 | 10 | 147 | 20 663 |
| | 480 | 8 | 100 | 100 | 12 | 350 | 10 | 155 | 22 104 |
| | 440 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 168 | 22 620 |
| | 460 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 20 | 185 | 24 695 |
| | 440 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 198 | 27 248 |
| | 460 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 20 | 200 | 27 461 |
| | 460 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 20 | 216 | 30 228 |
| | 440 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 222 | 31 229 |
| | 440 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 30 | 245 | 33 662 |
| | 420 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 40 | 259 | 34 203 |
| | 440 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 30 | 268 | 37 644 |
| | 440 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 30 | 285 | 39 372 |
| | 440 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 308 | 43 368 |
| | 420 | 10 | 100 | 100 | 12 | 350 | 40 | 322 | 44 385 |
| 0m,550 | 550 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 66 | 9 174 |
| | 550 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 81 | 10 764 |
| | 530 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 113 | 15 858 |
| | 490 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 172 | 25 590 |
| | 490 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 902 | 30 774 |
| | 490 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 225 | 35 202 |
| | 490 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 312 | 48 936 |
| 0m,600 | 600 | 6 | 70 | 70 | 10 | » | » | 69 | 10 296 |
| | 600 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 75 | 11 393 |
| | 600 | 6 | 90 | 90 | 10 | » | » | 81 | 12 460 |
| | 600 | 10 | 80 | 80 | 10 | » | » | 94 | 12 834 |
| | 580 | 6 | 80 | 80 | 10 | 200 | 10 | 105 | 17 497 |
| | 580 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 117 | 17 778 |
| | 580 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 131 | 20 538 |
| | 580 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 139 | 22 279 |
| | 580 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 10 | 155 | 24 389 |
| | 580 | 10 | 100 | 100 | 12 | 250 | 10 | 170 | 27 861 |
| | 540 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 176 | 28 620 |
| | 580 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 10 | 187 | 30 588 |
| | 540 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 206 | 34 368 |
| | 540 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 229 | 39 246 |
| | 540 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 30 | 293 | 49 704 |
| | 540 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 316 | 54 582 |
| 0m,650 | 650 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 81 | 12 282 |
| | 650 | 6 | 80 | 80 | 10 | » | » | 78 | 12 659 |
| | 650 | 10 | 80 | 80 | 10 | » | » | 98 | 14 348 |
| | 630 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 121 | 19 740 |
| | 630 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 135 | 22 764 |
| | 630 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 143 | 24 654 |
| | 590 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 180 | 31 704 |

| HAUTEUR totale. | AME | | 4 CORNIÈRES | | | 2 SEMELLES | | POIDS par mètre courant. | Moment de résistance pour R. = 600.000 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur. | Épaisseur. | Largeur horizontale | Largeur verticale. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | |
| | | mill. | | | mill. | | mill. | kil. | |
| 0m,650 | 630 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 10 | 210 | 338 58 |
| | 590 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 933 | 433 38 |
| | 590 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 320 | 602 94 |
| 0m,700 | 700 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 84 | 135 84 |
| | 700 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 90 | 149 34 |
| | 700 | 10 | 100 | 100 | 12 | » | » | 125 | 219 24 |
| | 680 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 139 | 250 44 |
| | 680 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 147 | 270 34 |
| | 680 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 202 | 392 16 |
| | 640 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 237 | 474 78 |
| | 640 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 324 | 660 72 |
| 0m,750 | 750 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 88 | 149 52 |
| | 750 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 94 | 164 04 |
| | 730 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 129 | 238 20 |
| | 730 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 143 | 273 78 |
| | 730 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 150 | 295 68 |
| | 690 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 188 | 380 40 |
| | 730 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 206 | 427 44 |
| | 690 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 218 | 454 68 |
| | 690 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 241 | 516 90 |
| | 690 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 328 | 719 04 |
| 0m,800 | 800 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 91 | 163 50 |
| | 800 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 97 | 179 22 |
| | 780 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 133 | 259 38 |
| | 780 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 147 | 297 66 |
| | 780 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 154 | 321 06 |
| | 740 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 192 | 412 86 |
| | 780 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 210 | 463 26 |
| | 740 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 226 | 492 78 |
| | 740 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 30 | 245 | 559 56 |
| | 740 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 332 | 777 96 |
| 0m,850 | 850 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 94 | 177 84 |
| | 850 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 100 | 194 70 |
| | 830 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 137 | 231 04 |
| | 830 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 151 | 330 00 |
| | 830 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 158 | 346 92 |
| | 830 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 214 | 499 62 |
| | 790 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 30 | 225 | 531 42 |
| | 790 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 335 | 837 42 |
| 0m,900 | 900 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 97 | 192 60 |
| | 900 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 103 | 210 66 |
| | 880 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 140 | 303 24 |
| | 880 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 154 | 346 86 |
| | 880 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 162 | 373 26 |

| HAUTEUR totale. | AME | | 4 CORNIÈRES | | | 2 SEMELLES | | POIDS par mètre courant. | Moment de résistance pour R. = 6,000,000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur. | Épaisseur. | Largeur horizontale | Largeur verticale. | Épaisseur. | Largeur | Épaisseur. | | |
| | | mill. | | | mill. | | mill. | kil. | |
| 0m,900 | 840 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 200 | 47 934 |
| | 880 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 218 | 53 646 |
| | 840 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 340 | 89 748 |
| 0m,950 | 950 | 8 | 70 | 70 | 10 | » | » | 100 | 20 778 |
| | 950 | 8 | 80 | 80 | 10 | » | » | 106 | 22 704 |
| | 930 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 144 | 32 592 |
| | 890 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 204 | 51 330 |
| | 930 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 222 | 57 390 |
| | 890 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 343 | 95 808 |
| 1m,000 | 1 000 | 8 | 70 | 70 | 00 | » | » | 103 | 22 338 |
| | 1 000 | 7 | 100 | 100 | 12 | » | » | 125 | 31 082 |
| | 980 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 10 | 134 | 34 914 |
| | 980 | 10 | 80 | 80 | 10 | 250 | 10 | 142 | 39 810 |
| | 980 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 102 | 42 750 |
| | 940 | 10 | 70 | 70 | 10 | 200 | 30 | 786 | 54 786 |
| | 940 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 708 | 101 922 |
| 1m,250 | 1 230 | 10 | 80 | 80 | 10 | 300 | 10 | 190 | 57 204 |
| | 1 230 | 10 | 100 | 100 | 15 | 350 | 10 | 237 | 77 220 |
| | 1 230 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 245 | 809 10 |
| | 1 190 | 0 | 100 | 100 | 15 | 400 | 30 | 367 | 133 284 |
| 1m,500 | 1 500 | 10 | 100 | 100 | 12 | » | » | 137 | 60 100 |
| | 1 430 | 10 | 100 | 100 | 12 | 300 | 10 | 242 | 67 100 |
| | 1 480 | 10 | 100 | 100 | 12 | 400 | 10 | 250 | 96 100 |
| | 1 488 | 10 | 100 | 100 | 15 | 400 | 10 | 264 | 101 916 |
| | 1 300 | 10 | 100 | 100 | 12 | 400 | 60 | 467 | 276 100 |

## Moments de résistance des poutres formées de 4 cornières.

(2 à chaque semelle) pour R = 6,000,000.

| HAUTEUR | CORNIÈRES de 80/80/10 | CORNIÈRES de 100/100/12 | HAUTEUR | CORNIÈRES de 80/80/10 | CORNIÈRES de 100/100/12 | HAUTEUR | CORNIÈRES de 80/80/10 | CORNIÈRES de 100/100/12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m | | | m | | | m | | |
| **0,400** | 5703 | 8131 | **0,770** | 12264 | 17914 | **1,140** | 18889 | 27848 |
| 0,410 | 5757 | 8389 | 0,780 | 12443 | 18182 | 1,150 | 19068 | 28117 |
| 0,420 | 6053 | 8649 | 0,790 | 12622 | 18450 | 1,160 | 19247 | 28386 |
| 0,430 | 6229 | 8909 | 0,800 | 12800 | 18717 | 1,170 | 19427 | 28655 |
| 0,440 | 6405 | 9169 | 0,810 | 12973 | 18985 | 1,180 | 19606 | 28925 |
| **0,450** | 6580 | 9430 | **0,820** | 13157 | 19253 | **1,190** | 19785 | 29195 |
| 0,460 | 6756 | 9692 | 0,830 | 13336 | 19520 | 1,200 | 19965 | 29464 |
| 0,470 | 6933 | 9953 | 0,840 | 13515 | 19788 | 1,210 | 20144 | 29733 |
| 0,480 | 7109 | 10216 | 0,850 | 13694 | 20056 | 1,220 | 20324 | 30003 |
| 0,490 | 7285 | 10479 | 0,860 | 13873 | 20324 | 1,230 | 20503 | 30272 |
| **0,500** | 7462 | 10741 | **0,870** | 14052 | 20592 | **1,240** | 20683 | 30542 |
| 0,510 | 7639 | 11004 | 0,880 | 14230 | 20860 | 1,250 | 20862 | 30811 |
| 0,520 | 7816 | 11267 | 0,890 | 14409 | 21128 | 1,260 | 21041 | 31081 |
| 0,530 | 7993 | 11531 | 0,900 | 14588 | 21397 | 1,270 | 21220 | 31350 |
| 0,540 | 8170 | 11795 | 0,910 | 14767 | 21665 | 1,280 | 21400 | 31620 |
| **0,550** | 8347 | 12059 | **0,920** | 14946 | 21933 | **1,290** | 21580 | 31889 |
| 0,560 | 8524 | 12323 | 0,930 | 15125 | 22202 | 1,300 | 21760 | 32159 |
| 0,570 | 8702 | 12588 | 0,940 | 15304 | 22470 | 1,310 | » » | 32428 |
| 0,580 | 8879 | 12853 | 0,950 | 15483 | 22738 | 1,320 | » » | 32698 |
| 0,590 | 9057 | 13118 | 0,960 | 15662 | 23007 | 1,330 | » » | 32963 |
| **0,600** | 9235 | 13383 | **0,970** | 15841 | 23276 | **1,340** | » » | 33237 |
| 0,610 | 9412 | 13648 | 0,980 | 16020 | 23544 | 1,350 | » » | 33507 |
| 0,620 | 9590 | 13914 | 0,990 | 16200 | 23813 | 1,360 | » » | 33776 |
| 0,630 | 9768 | 14180 | 1,000 | 16380 | 24082 | 1,370 | » » | 34046 |
| 0,640 | 9946 | 14446 | 1,010 | 16559 | 24350 | 1,380 | » » | 34315 |
| **0,650** | 10124 | 14712 | **1,020** | 16738 | 24620 | **1,390** | » » | 34585 |
| 0,660 | 10302 | 14978 | 1,030 | 16917 | 24888 | 1,400 | » » | 34855 |
| 0,670 | 10480 | 15244 | 1,040 | 17096 | 25157 | 1,410 | » » | 35125 |
| 0,680 | 10658 | 15510 | 1,050 | 17275 | 25426 | 1,420 | » » | 35395 |
| 0,690 | 10836 | 15777 | 1,060 | 17454 | 25695 | 1,430 | » » | 35665 |
| **0,700** | 11014 | 16044 | **1,070** | 17633 | 25965 | **1,440** | » » | 35935 |
| 0,710 | 11192 | 16311 | 1,080 | 17813 | 26234 | 1,450 | » » | 36205 |
| 0,720 | 11370 | 16578 | 1,090 | 17992 | 26503 | 1,460 | » » | 36475 |
| 0,730 | 11549 | 16845 | 1,100 | 18171 | 26772 | 1,470 | » » | 36745 |
| 0,740 | 11727 | 17112 | 1,110 | 18351 | 27041 | 1,480 | » » | 37015 |
| **0,750** | 11906 | 17379 | **1,120** | 18530 | 27310 | **1,490** | » » | 37285 |
| 0,760 | 12085 | 17646 | 1,130 | 18710 | 27579 | 1,500 | » » | 37555 |

## DENTS DE ROUE D'ENGRENAGE.

Une dent de roue d'engrenage est assimilée à un solide encastré par une de ses extrémités et sollicité à la flexion. Appelons P la pression en kilogrammes qu'une dent peut recevoir de l'autre roue.

L, la saillie de la dent sur la jante,

$h$, l'épaisseur de la dent suivant la circonférence,

$b$, sa largeur dans le sens de l'axe de la roue.

On applique la relation :

$$PL = R\frac{bh^2}{6}.$$

Les dents étant soumises à des chocs, on réduit R aux 0,50 ou 0,40 de la valeur qu'on lui attribuerait dans le cas d'une flexion simple.

En pratique L est généralement égal à 1,5 $h$; on réduit $l$ à 1,2 $h$ si P est grand. Le rapport de $b$ à $h$ croît aussi avec P ou il est compris entre 3 et 6.

ÉPAISSEUR $h$ EN MILLIMÈTRES CONVENANT AUX DENTS D'ENGRENAGE EN FONTE, POUR DES FORCES EN CHEVAUX ET DES VITESSES A LA CIRCONFÉRENCE DONNÉES.

| FORCE en chevaux. | VITESSE EN MÈTRES par minute à la circonférence. | | | | | | FORCE en chevaux. | VITESSE EN MÈTRES par minute à la circonférence. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| 1 | 12 | 8 | 7 | 6 | » | » | 12 | 42 | 30 | 24 | 21 | 19 | 17 |
| 2 | 17 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 14 | 45 | 32 | 26 | 22 | 20 | 18 |
| 3 | 21 | 15 | 12 | 11 | 10 | 9 | 16 | 49 | 34 | 28 | 24 | 21 | 20 |
| 4 | 24 | 17 | 14 | 12 | 11 | 10 | 18 | 51 | 36 | 30 | 26 | 23 | 21 |
| 5 | 27 | 19 | 15 | 14 | 12 | 11 | 20 | 54 | 38 | 31 | 27 | 24 | 22 |
| 6 | 30 | 21 | 17 | 15 | 13 | 12 | 25 | » | 43 | 35 | 30 | 27 | 25 |
| 7 | 32 | 22 | 18 | 16 | 14 | 13 | 30 | » | 47 | 38 | 33 | 30 | 27 |
| 3 | 34 | 24 | 20 | 17 | 15 | 14 | 35 | » | 51 | 41 | 36 | 32 | 29 |
| 9 | 36 | 26 | 21 | 18 | 16 | 15 | 40 | » | 54 | 44 | 38 | 34 | 31 |
| 10 | 38 | 27 | 22 | 19 | 17 | 16 | | | | | | | |

## RESSORTS POUR WAGONS ET LOCOMOTIVES

(D'après REDTENBACHER).

Ces ressorts se composent de bandes ou feuilles d'acier superposées et embrassées au milieu par une bride qui les maintient réunies.

On connaît toujours : 1° la charge que le ressort doit supporter, soit P à chaque extrémité ; 2° la plus grande tension par centimètre carré que la charge doit produire $S=4400$ pour l'acier fondu; 3° la longueur $2l$ de la plus longue des feuilles du ressort; 4° la largeur $b$ des feuilles, qui est égale pour toutes les feuilles.

Les quantités à déterminer sont les suivantes :

1° L'épaisseur $\delta$ des feuilles, qui doit être la même pour toutes les feuilles; 2° le nombre des feuilles du ressort; 3° les longueurs de toutes les feuilles dont se compose le ressort.

Appelant :

$2l_k$ la longueur de la $k^e$ feuille, $k=1$, correspondant à la plus longue des feuilles, la première;

E, le module d'élasticité de la matière des feuilles;

$f$ la flexion, c'est-à-dire l'abaissement des points extrêmes de la lame supérieure, $=4$ à 5 centimètres pour les locomotives à voyageurs ou 3 à 4 centimètres pour les machines à marchandises;

$\gamma$ un nombre égal ou plus grand que l'unité ou même infini; $n$ le nombre de feuilles.

Pour obtenir la même tension S dans toutes les feuilles et le contact constant dans toute l'étendue de toutes les feuilles, on emploie les formules ci-après :

$$\delta=\frac{Sl^2}{Ef}\left(1-\frac{l}{3\gamma}\right) \qquad n=\frac{6Pl}{Sb\delta^2}$$

$$l_k=1\frac{1-\dfrac{k-1}{n}}{1-\left(\dfrac{k-1}{n}\right)\dfrac{1}{\gamma}}.$$

Dans le cas d'un *ressort rectangulaire* $\gamma=1$; $l_k=1$;

$$\delta=\frac{2}{3}\frac{Sl^2}{Ef}; \quad n=\frac{6Pl}{Sb\delta^2}; \quad l_k=1.$$

Pour un *ressort trapézoïdique* $\gamma = \infty$ :

$$= \frac{S l^2}{E f}; \quad n = \frac{6 P l}{S b \delta^2}; \quad l_K = 1 \left(1 - \frac{k-1}{n}\right).$$

Pour un *ressort hyperbolique* $\gamma$ a une valeur différente de 0 et de l'infini ; si par exemple $\gamma = \frac{3}{2}$ :

$$\delta = \frac{7}{9} \frac{S l^2}{E f}; \quad n = \frac{6 P l}{S b \delta^2}; \quad l_K = 1 \frac{3n + 3 - 3k}{3n + 2 - 2k}.$$

---

## RÉSISTANCE A LA TORSION

(Extrait de l'*Aide-Mémoire* du général Morin.)

Dans les formules ci-après on désigne par : P l'effort qui tend à tordre le corps. — R le bras de levier de cet effort, — $b$ le côté du carré si la section du corps est carré, — $d$ le diamètre du corps s'il est cylindrique, ou celui du cercle *inscrit* s'il est à section polygonale, — $d$ et $d'$ sont les diamètres extérieur et intérieur s'il s'agit d'un cylindre creux.

| FORME de la section transversale. | MATIÈRES dont le corps est formé. | FORMULES A EMPLOYER POUR LES ARBRES. Allégés. | FORTS. |
|---|---|---|---|
| Carré | Fer ou fonte. | $b^3 = \frac{PR}{315\ 000}$ | $b^3 = \frac{PR}{157\ 500}$ |
| | Bois | $b^3 = \frac{PR}{52\ 423}$ | $b^3 = \frac{PR}{26\ 212}$ |
| Circulaire | Fer ou fonte. | $d^3 = \frac{PR}{262\ 000}$ | $d^3 = \frac{PR}{131\ 000}$ |
| | Bois | $d^3 = \frac{PR}{43\ 638}$ | $d^3 = \frac{PR}{21\ 819}$ |
| Annulaire. $d$ et $d'$ étant quelconques. | Fer ou fonte. | $\frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{PR}{262\ 000}$ | $\frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{PR}{131\ 000}$ |
| | Bois | $\frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{PR}{43\ 638}$ | $\frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{PR}{21\ 819}$ |
| Annulaire. Si $d' = \frac{3}{5} d$ | Fer ou fonte. | $d^3 = \frac{PR}{227\ 900}$ | $d^3 = \frac{PR}{113\ 950}$ |
| | Bois | $d^3 = \frac{PR}{37\ 972}$ | $d^3 = \frac{PR}{18\ 986}$ |

*Formule pratique*; *arbres de transmission :* soit $d$ le diamètre de l'arbre, F la puissance en chevaux, $n$ le nombre de tours par minute, $k$ un coefficient, on a :

$$d^3 = k \frac{F}{n};$$

on détermine $k$ par comparaison avec d'autres arbres travaillant dans des conditions analogues.

Diamètre en millimètres des tourillons en fer forgé des arbres de communication de mouvements situés près du moteur.

| FORCE en chevaux | NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| **4** | 119 | 94 | 82 | 75 | 69 | 66 | 62 | 60 | 57 | 55 |
| 6 | 136 | 108 | 94 | 86 | 79 | 75 | 71 | 68 | 65 | 63 |
| 8 | 150 | 119 | 104 | 94 | 87 | 83 | 78 | 75 | 72 | 70 |
| 10 | 162 | 128 | 112 | 102 | 94 | 90 | 85 | 81 | 78 | 75 |
| 12 | 172 | 136 | 119 | 108 | 101 | 95 | 90 | 86 | 83 | 80 |
| 14 | 181 | 143 | 124 | 114 | 106 | 100 | 94 | 91 | 87 | 84 |
| 16 | 189 | 150 | 131 | 119 | 111 | 105 | 99 | 95 | 91 | 88 |
| 18 | 196 | 157 | 136 | 124 | 115 | 109 | 103 | 99 | 95 | 91 |
| 20 | 203 | 162 | 141 | 129 | 119 | 113 | 107 | 102 | 98 | 95 |
| **25** | 219 | 175 | 152 | 188 | 129 | 121 | 115 | 110 | 105 | 102 |
| 30 | 233 | 185 | 161 | 147 | 137 | 129 | 122 | 116 | 112 | 108 |
| 35 | 246 | 195 | 170 | 155 | 144 | 136 | 129 | 123 | 118 | 114 |
| 40 | 257 | 204 | 178 | 162 | 150 | 142 | 134 | 129 | 123 | 119 |
| 45 | 267 | 212 | 185 | 168 | 157 | 147 | 140 | 134 | 129 | 124 |
| 50 | 277 | 220 | 192 | 174 | 162 | 152 | 145 | 139 | 133 | 129 |
| 55 | 286 | 227 | 198 | 180 | 168 | 157 | 149 | 143 | 137 | 135 |
| 60 | 294 | 234 | 204 | 185 | 172 | 161 | 154 | 147 | 141 | 138 |
| **65** | 302 | 240 | 210 | 190 | 177 | 166 | 158 | 151 | 145 | 141 |
| 70 | 310 | 246 | 215 | 195 | 181 | 170 | 162 | 155 | 149 | 144 |
| 75 | 317 | 251 | 220 | 200 | 185 | 175 | 166 | 158 | 153 | 147 |
| 80 | 324 | 257 | 225 | 204 | 189 | 178 | 169 | 162 | 156 | 160 |
| 85 | 331 | 263 | 229 | 209 | 194 | 182 | 173 | 166 | 159 | 153 |
| 90 | 337 | 267 | 234 | 212 | 197 | 185 | 176 | 169 | 162 | 156 |
| 95 | 343 | 272 | 238 | 216 | 200 | 189 | 179 | 172 | 165 | 159 |
| 100 | 349 | 277 | 242 | 220 | 204 | 192 | 182 | 175 | 168 | 162 |

S'il s'agissait des mêmes arbres en fonte, on n'aurait qu'à ajouter aux nombres du tableau le sixième de leur valeur.

Diamètre et longueur en millimètres que doivent avoir les tourillons en fonte, destinés à porter de fortes charges.

| PRESSIONS en kilogr. | DIAMÈTRE. | LONGUEUR. | PRESSIONS en kilogr. | DIAMÈTRE. | LONGUEUR. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,000 | 79 mil. | 92 mil. | 15,000 | 195 mil. | 234 mil. |
| 2,000 | 100 | 120 | 20,000 | 214 | 257 |
| 4,000 | 125 | 150 | 25,000 | 231 | 277 |
| 6,000 | 144 | 173 | 30,000 | 246 | 296 |
| 8,000 | 158 | 190 | 35,000 | 258 | 310 |
| 10,000 | 170 | 204 | 40,000 | 270 | 324 |

# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## CORPS SIMPLES.

| NOMS MÉTALLIQUES DES CORPS. | SYMBOLES. | ÉQUIVALENTS. 0 = 100 | ÉQUIVALENTS. H = 1 | DENSITÉ. |
|---|---|---|---|---|
| Arsenic* (1) | As | 940 | 75,0 | 5,75 |
| Azote (gaz) | Az | 175 | 14 0 | 0,971 |
| Bore | Bo | 136 | 11,0 | » |
| Brome (liquide) | Br | 1000 | 80,0 | 2,968 |
| Carbone | C | 75 | 6,0 | » |
| Chlore (gaz) | Ch | 443 | 35,5 | 2,44 |
| Fluor | Fl | 235 | 19,0 | » |
| Hydrogène (gaz) | H | 12 5 | 1,0 | 0,069 |
| Iode | I | 1580 | 127,0 | 4,948 |
| Oxygène (gaz) | O | 100 | 8,0 | 1,105 |
| Phosphore | Ph | 400 | 31,0 | 1,77 |
| Sélenium | Se | 491 | 39,2 | 4,3 |
| Silicium | Si | 266 | 21,3 | » |
| Soufre | S | 200 | 16,0 | 2,087 |
| Tellure* | Te | 806 | 64,5 | 6,2 |

| MÉTAUX employés dans l'industrie. | SYMBOLES. | ÉQUIVALENTS 0 = 100 | ÉQUIVALENTS H = 1 | MÉTAUX non employés. | SYMBOLES. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aluminium | Al | 174 | 13,7 | Cœsium | Cs |
| Antimoine* | Sb | 806 | 12,2 | Cerium | Ce |
| Argent* | Ag | 1350 | 108,0 | Didyne | Di |
| Barium | Ba | 858 | 68,5 | Erbum | Er |
| Bismuth* | Bi | 1330 | 20,0 | Glucinium | Gl |
| Cadmium | Cd. | 696 | 55,7 | Ilmenium | Il |
| Calcium | Ca | 250 | 20,0 | Iridium* | Ir |
| Chrome | Cr | 328 | 26,2 | Lanthane | La |
| Cobalt | Co | 368 | 29,5 | Lithium | Li |
| Cuivre* | Cu | 395 | 31,6 | Molybdène | Mo |
| Etain | Sn | 735 | 58,8 | Niobium | Nb |
| Fer* | Fe | 350 | 28,0 | Osmium | Os |
| Magnésium | Mg | 158 | 12,2 | Pélopium | Pe |
| Manganèse | Mn | 345 | 27,5 | Rhodium* | Rh |
| Mercure* | Hg | 1250 | 100,0 | Rubidium | Rb |
| Nickel | Ni | 369 | 29,5 | Ruthenium* | Ru |
| Or* | Au | 1227 | 98,3 | Tantale | |
| Palladium* | Pd | 665 | 53,2 | Terbium | |
| Platine* | Pt | 1233 | 98,6 | Thorium | T |
| Plomb | Pb | 1294 | 103,5 | Tilane | T |
| Potassium | K | 490 | 39,0 | Thallium | Tb |
| Sodium | Na | 290 | 23,2 | Tungstène | W |
| Strontium | St | 548 | 43,8 | Vanadium | Va |
| Uranium | U | 754 | 60,0 | Yttrium | Y |
| Zinc | Zn | 414 | 32,7 | Zirconium | Zr |

(1) Tous les corps qui sont accompagnés d'un * se trouvent à l'état natif.

# DENSITÉS.

## Poids absolu d'un decimètre cube de diverses substances.

FLUIDES ÉLASTIQUES A 0° ET 1 ATMOSPHÈRE.

| NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. | NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. |
|---|---|---|---|
| | gr. | | gr. |
| Air atmosphérique | 1,293 | Acide chlorhydrique | 1,589 |
| Vapeur d'iode | 11,270 | — sulphydrique | 1,536 |
| — d'éther | 3,434 | Oxygène | 1,429 |
| Vap. d'essence de térébent. | 6,500 | Dentoxyde d'azote | 1,343 |
| Vap. de sulfure de carbone | 3,418 | Gaz oléfiant | 1,275 |
| Chlore | 3,124 | Azote | 1,256 |
| Vap. d'éther chlorhydrique | 2,870 | Oxyde de carbone | 1,234 |
| Acide sulfureux | 2,729 | Phosphore d'hydrogène | 1,327 |
| Cyanogène | 2,330 | Vapeur d'eau | 0,806 |
| Vapeur d'alcool absolu | 2,095 | Gaz ammoniac | 0,770 |
| Protoxide d'azote | 1,970 | Protocarbure d'hydrogène | 0,727 |
| Acide carbonique | 1,977 | Hydrogène | 0,896 |

SUBSTANCES DIVERSES.

| NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. | NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. |
|---|---|---|---|
| | kil. | | kil. |
| Acide chlorhydrique conc. | 1,2000 | Argent à 951/1000 fondu | 10,1752 |
| — nitrique fumant | 1,5000 | — — forgé | 10,3765 |
| — nitrique du comm. | 1,2170 | — au titre de la monnaie fondu | 10,0476 |
| — sulfurique à 66° | 1,8410 | Argent au titre de la monnaie monnayé | 10,4077 |
| Acier écroui et non trempé | 7,8404 | Argent pur fondu | 10,4748 |
| — écroui et trempé | 7,8180 | — pur forgé | 10,5107 |
| — non écroui ni trempé | 7,8341 | Argile | 1,93 |
| — trempé non écroui | 7,8163 | Arsenic | 5,67 |
| Albâtre d'Europe | 1,8740 | Asphalte | 1,336 |
| — oriental | 2,7302 | Avoine (*h*) (1) | 0,470 |
| Alcool absolu | 0,7150 | Basalte d'Auvergne | 2,4215 |
| Aluminium fondu | 2,56 | Beton de caillou | 2,485 |
| — laminé | 2,67 | — de moulières concassées *dites* caillasses | 2,700 |
| Alun | 1,7530 | Beton de recoupe de pierres dures | 2,600 |
| Ammoniaque | 0,8970 | | |
| Anthracite | 1,8000 | | |
| Antimoine fondu | 6,7120 | | |
| Ardoise | 2,8535 | | |

(1) Toutes les substances qui sont accompagnées d'un *h* sont comptées mesurées au double décalitre ou à l'hectolitre, suivant les usages du commerce.

## SUBSTANCES DIVERSES.

| NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. | NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. |
|---|---|---|---|
| | kil. | | kil. |
| Beton de meulières poreuses | 2, 857 | Chrôme fondu | 5, 9000 |
| Beurre | 0, 9423 | Cire blanche | 0, 9686 |
| Bière | 1, 024 | — jaune | 0, 9748 |
| Bismuth | 9, 8220 | — lard | 0, 9478 |
| Blanc de baleine | 0, 9433 | Cobalt | 7, 8119 |
| — d'œuf | 1, 041 | Coke d'éclairage (*h*) | 0, 340 |
| Bois aune | 0, 800 | — — au four (*h*) | 0, 400 |
| — Brésil | 1, 080 | Colza (*h*) | 0, 650 |
| — buis de France | 0, 912 | Cristal de Saint-Gobain | 2, 4862 |
| — buis de Hollande | 1, 328 | Cuivre en fil | 8, 8785 |
| — Campêche | 0, 913 | — fondu | 8, 7880 |
| — cèdre | 0, 596 | — laiton fondu | 8, 3950 |
| — cerisier | 0, 715 | — — en fil | 8, 5441 |
| — chêne aubier | 0, 540 | Diamants les plus légers | 3, 5010 |
| — — cœur | 1, 170 | — les plus lourds | 3, 5310 |
| — — sec | 0, 740 | Eau de la mer Morte | 1, 2403 |
| — — vert | 0, 850 | — de mer | 1, 0263 |
| — coignassier | 0, 706 | — de pluie ou distillée | 1, 0000 |
| — cyprès | 0, 644 | Eau-de-vie à 18 degrés | 0, 9477 |
| — ébenier d'Amérique | 1, 331 | — à 19 — | 0, 9416 |
| — — des Indes | 1, 200 | — à 22 — | 0, 9236 |
| — érable | 0, 775 | Esprit-de-vin à 33 degrés | 0, 8632 |
| — fossile | 0,209a1,380 | — à 36 — | 0, 848 |
| — frêne | 0, 845 | Essence de cannelle | 1, 0439 |
| — gaine | 1, 343 | — de girofle | 1, 0363 |
| — grenadier | 1, 354 | — lavande | 0, 8938 |
| — hêtre | 0, 842 | — de menthe | 0, 8510 |
| — If | 0, 807 | — de térébenthine | 0, 8697 |
| — liége | 0, 240 | Etain de Cornouailles écr. | 7, 2994 |
| — nédier | 0, 244 | — — non écroui | 7, 2914 |
| — noyer | 0, 671 | — de Malacca écroui | 7, 3065 |
| — oranger | 0, 105 | — — non écroui | 7, 2963 |
| — orme | 0, 671 | Ether acétique | 0, 8664 |
| — peuplier blanc | 0, 329 | — chlorhydrique | 0, 8749 |
| — — ordinaire | 0, 383 | — nitrique | 0, 9088 |
| — poirier | 0, 661 | — sulfurique | 0, 7119 |
| — pommier | 0, 793 | Farine de froment bonne qualité (*h*) | 1, 0350 |
| — prunier | 0, 785 | Fer fondu | 7, 2070 |
| — sapin femelle | 0, 498 | — forgé en barres | 7, 7880 |
| — — mâle | 0, 550 | Flint-Glass. (Voy. *Verre*) | 3, 3293 |
| — — rouge | 0, 657 | Glace | 0, 9300 |
| — sassafras | 0, 482 | Graine de chenevis (*h*) | 0, 520 |
| — saule | 0, 585 | — de faine (*h*) | 0, 500 |
| — sureau | 0, 695 | — de lin (*h*) | 0, 680 |
| — tilleul | 0, 604 | — de moutarde (*h*) | 0, 0000 |
| — vigne | 1, 327 | — d'œillette (*h*) | 0, 620 |
| Borax | 1, 720 | — de navette d'été (*h*) | 0, 540 |
| Brôme | 2, 966 | — — d'hiver (*h*) | 0, 640 |
| Camphre | 0, 996 | Graisse de bœuf | 0, 9232 |
| Caoutchouc | 0, 933 | — de mouton | 0, 9235 |
| Charbon de bois fait en tas | 0, 250 | — de porc | 0, 9368 |
| — en vase clos | 0, 150 | — de veau | 0, 9341 |
| Chaux sulfatée cristallisée | 2, 414 | Granit des Vosges | 2, 7165 |
| — vive (*h*) | 0, 840 | — gris | 2, 7279 |

SUBSTANCES DIVERSES.

| NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. | NOMS DES SUBSTANCES. | POIDS d'un décimètre cube, ou d'un litre. |
|---|---|---|---|
| | kil. | | kil. |
| Granit gris de Bretagne | 2, 7280 | Pierre à plâtre | 2, 1679 |
| — rouge d'Égypte | 2, 6541 | — d'Arcueil | 2, 0605 |
| Granitelle | 3, 0626 | — de liais | 2, 0778 |
| Grès à bâtir | 1, 9332 | — de Saint-Leu | 1, 6593 |
| — à pavoir | 2, 4158 | — fine de Meudon | 2, 4353 |
| Houille compacte | 1, 3292 | — Météorique | 3, 575 |
| — mesurée à l'hectolitre (*h*) | 0, 800 | — Meulière | 2, 4835 |
| Huile d'amande douce | 0, 9170 | — ponce | 0, 9145 |
| — de baleine | 0, 9233 | Platine écroui | 23, 000 |
| — de faine (V. *Graines*) | 0, 9170 | — en fil | 21, 0417 |
| — de lin | 0, 9403 | — forgé | 20, 3366 |
| — de navette | 0, 9193 | — laminé | 22, 6699 |
| — de noix | 0, 9227 | Plâtre broyé (*h*) V. *Chaux* | 0, 960 |
| — d'olive | 0, 9158 | Plomb | 11, 3523 |
| — de pavot | 0, 9288 | Poix-résine | 1, 072 |
| Iode | 4, 9480 | Pomme de terre (*h*) | 0, 940 |
| Ivoire | 1, 9170 | Porphyre rouge | 2, 7651 |
| Jayet ou lignite | 2, 2590 | Potassium | 0, 8651 |
| Lait d'ânesse | 1, 0335 | Poudre de guerre | 0, 858 |
| — de brebis | 1, 0409 | Quartz jaspé | 2, 7101 |
| — de chèvre | 1, 0341 | Rhodium | 11, 0000 |
| — de femme | 1, 0203 | Sable | 1, 313 |
| — de jument | 1, 0346 | — de rivière | 1, 880 |
| — de vache | 1, 0324 | Schiste | 2, 672 |
| Laiton (Voy. *Cuivre*) | 8, 3950 | Sélénium | 4, 3200 |
| Maçonnerie en brique | 1, 870 | Seigle (*h*) | 0, 740 |
| — en moellon | 2, 250 | Sodium | 0, 9726 |
| — en pierre sèche | 1, 450 | Son, mouture française (*h*) | 0, 200 |
| Marbre campan vert | 2, 7417 | — — anglaise (*h*) | 0, 220 |
| — de Carrare | 2, 7168 | Soufre natif | 2, 0330 |
| — de Paros | 2, 8376 | Sucre | 1, 606 |
| Mercure | 13, 5980 | Suif | 0, 9419 |
| Miel | 1, 4500 | Tan (*h*) | 0, 350 |
| Molybdène | 8, 6110 | Tellure fondu | 6, 1150 |
| Mortier | 1, 7200 | Terre argileuse de culture | 1, 240 |
| Naphte | 0, 8473 | — composée de débris de roche | 1, 750 |
| Nickel | 8, 2790 | Pierre mêlée de gros grav. | 1, 650 |
| Or à 833/1000 fondu | 15, 7090 | — — de petits grav. | 1, 450 |
| — — forgé | 15, 7746 | — ordinaire végétale | 1, 110 |
| — à 917/1000 fondu | 17, 4863 | — savonneuse | 1, 578 |
| — — forgé | 17, 5893 | — tourbe sèche (*h*) | 0, 444 |
| — au titre de la monnaie, fondu | 17, 4022 | Tripoli | 1,85602,20 |
| Or au titre de la monnaie, monnayé | 17, 6473 | Tungstène | 17, 6000 |
| Or pur fondu | 19, 2581 | Ursane | 8, 1000 |
| — — forgé | 19, 3617 | Verre à bouteilles (Voyez *Cristal* | 2, 7325 |
| Orge (*h*) | 0, 6330 | Verre à vitre | 2, 6423 |
| Os de bœuf | 1, 6560 | Vinaigre | 1, 019 |
| — concassés | 0, 5000 | Vin de Bordeaux | 0, 9939 |
| Palladium | 11, 3000 | — de Bourgogne | 0, 9215 |
| Paraffine | 0, 8700 | — de Champagne | 0, 962 |
| Perles communes | 2, 7500 | — de Malaga | 1, 03 |
| Perles orientales | 2, 6840 | — de Porto | 0, 997 |
| Phosphore | 1, 7700 | — du Cap | 1, 822 |
| | | Zinc fondu | 6, 8610 |

### VITESSE DU SON.

Dans l'air, à 10°, elle est de 337m,2 par seconde ; et elle augmente de 0m,626 par chaque degré d'accroissement de la température.

Dans l'eau, à 8°,1, elle a été trouvée de 1,435 mètres (Sturm et Colladon).

Dans la fonte, elle est 10 fois 1/2 plus grande que dans l'air.

### VITESSE DE LA LUMIÈRE.

D'après les expériences de Firean, elle est d'environ 300,000 kilomètres par seconde.

---

## CHALEUR

### COMPARAISON DES DIFFÉRENTS THERMOMÈTRES.

Formules de transformation. Notations : C, Celsius ou centigrades ; F, Fahrenheit ; R, Réaumur.

$$F = \frac{9}{5}C + 32 \qquad F = \frac{9}{4}R + 32$$

$$C = (F - 32)\frac{5}{9} \qquad R = (F - 32)\frac{4}{9}$$

| Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur | Fahrenheit. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| +260 | +208. | +500. | +210 | +192. | +464. | +220 | +176 | +428. |
| 259 | 207.20 | 498.20 | 239 | 191.20 | 462.20 | 219 | 175.20 | 426.20 |
| 258 | 206.40 | 496.40 | 238 | 190.40 | 460.40 | 218 | 174.40 | 424.40 |
| 257 | 205.60 | 494.60 | 237 | 189.60 | 458.60 | 217 | 173.60 | 422.60 |
| 256 | 204.80 | 492.80 | 236 | 188.80 | 456.80 | 216 | 172.80 | 420.80 |
| 255 | 204. | 491. | 235 | 188. | 455. | 215 | 172. | 419. |
| 254 | 203.20 | 489.20 | 234 | 187.20 | 453.20 | 214 | 171.20 | 417.20 |
| 253 | 202.40 | 487.40 | 233 | 186.40 | 451.40 | 213 | 170.40 | 415.40 |
| 252 | 201.60 | 485.60 | 232 | 185.60 | 449.60 | 212 | 169.60 | 413.60 |
| 251 | 200.80 | 483.80 | 231 | 184.80 | 447.80 | 211 | 168.80 | 411.80 |
| 250 | 200. | 482. | 230 | 184. | 446. | 210 | 168. | 410. |
| 249 | 199.20 | 480.20 | 229 | 183.20 | 444.20 | 209 | 167.20 | 408.20 |
| 248 | 198.40 | 478.40 | 228 | 182.40 | 442.40 | 208 | 166.40 | 406.40 |
| 247 | 197.60 | 476.60 | 227 | 181.60 | 440.60 | 207 | 165.60 | 404.60 |
| 246 | 196.80 | 474.80 | 226 | 180.80 | 438.80 | 206 | 164.80 | 402.80 |
| 245 | 196. | 473. | 225 | 180. | 437. | 205 | 164. | 401. |
| 244 | 195.20 | 471.20 | 224 | 179.20 | 435.20 | 204 | 163.20 | 399.20 |
| 243 | 194.40 | 469.40 | 223 | 178.40 | 433.40 | 203 | 162.40 | 397.40 |
| 242 | 193.60 | 467.60 | 222 | 177.60 | 431.60 | 202 | 161.60 | 395.60 |
| 241 | 192.80 | 465.80 | 221 | 176.80 | 429.80 | 201 | 160.80 | 393.80 |

| Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **+200** | +160. | +392. | **+150** | +120. | +302. | **+100** | + 80. | +212. |
| 199 | 159.20 | 392.20 | 149 | 119.20 | 300.20 | 99 | 79.20 | 210.20 |
| 198 | 158.40 | 388.40 | 148 | 118.40 | 298.40 | 98 | 78.40 | 208.40 |
| 197 | 157.60 | 386.60 | 147 | 117.60 | 296.60 | 97 | 77.60 | 206.60 |
| 196 | 156.80 | 384.80 | 146 | 116.80 | 294.80 | 96 | 76.80 | 204.80 |
| 195 | 156. | 383. | 145 | 116. | 293. | 95 | 76. | 203. |
| 194 | 155.20 | 381.20 | 144 | 115.20 | 291.20 | 94 | 75.20 | 201.20 |
| 193 | 154.40 | 379.40 | 143 | 114.40 | 289.40 | 93 | 74.40 | 199.40 |
| 192 | 153.60 | 377.60 | 142 | 113.60 | 287.60 | 92 | 73.60 | 197.60 |
| 191 | 152.80 | 375.80 | 141 | 112.80 | 285.80 | 91 | 72.80 | 195.80 |
| **190** | 152. | 374. | **140** | 112. | 284. | **90** | 72. | 194. |
| 189 | 151.20 | 372.20 | 139 | 111.20 | 282.20 | 89 | 71.20 | 192.20 |
| 188 | 150.40 | 370.40 | 138 | 110.40 | 280.40 | 88 | 70.40 | 190.40 |
| 187 | 149.60 | 368.60 | 137 | 109.60 | 278.60 | 87 | 69.69 | 188.60 |
| 186 | 148.80 | 366.80 | 136 | 108.80 | 276.80 | 86 | 68.80 | 186.80 |
| 185 | 148. | 365. | 135 | 108. | 275 | 85 | 68. | 185. |
| 184 | 147.20 | 363.20 | 134 | 107.20 | 273.20 | 84 | 67.20 | 183.20 |
| 183 | 146.40 | 361.40 | 133 | 106.40 | 271.40 | 83 | 66.40 | 181.40 |
| 182 | 145.60 | 359.60 | 132 | 105.60 | 269.60 | 82 | 65.60 | 179.00 |
| 181 | 144.80 | 357.80 | 131 | 104.80 | 267.80 | 81 | 64.80 | 177.80 |
| **180** | 144. | 356. | **130** | 104. | 266. | **80** | 64. | 176. |
| 179 | 143.20 | 354.20 | 129 | 103.20 | 264.20 | 79 | 63.20 | 174.20 |
| 178 | 142.40 | 352.40 | 128 | 102.40 | 262.40 | 78 | 62.40 | 172.40 |
| 177 | 141.60 | 350.60 | 127 | 101.60 | 260.60 | 77 | 61.60 | 170.60 |
| 176 | 140.80 | 348.80 | 126 | 100.80 | 258.80 | 76 | 60.80 | 108.80 |
| 175 | 140 | 347. | 125 | 100. | 257. | 75 | 60. | 167. |
| 174 | 139.20 | 345.20 | 124 | 99.20 | 255.20 | 74 | 59.20 | 165.20 |
| 173 | 138.40 | 343.40 | 123 | 98.40 | 253.40 | 73 | 58.40 | 164.40 |
| 172 | 137.60 | 341.60 | 122 | 97.60 | 251.60 | 72 | 57.60 | 161.60 |
| 171 | 136.80 | 339.80 | 121 | 96.80 | 249.80 | 71 | 56.80 | 159.80 |
| **170** | 136. | 338. | **120** | 96. | 248. | **70** | 56. | 158. |
| 169 | 135.20 | 336.20 | 119 | 95.20 | 246.20 | 69 | 55.20 | 156.20 |
| 168 | 134.40 | 334.40 | 118 | 94.40 | 244.40 | 68 | 54.40 | 154.40 |
| 167 | 133.60 | 333.60 | 117 | 93.60 | 242.60 | 67 | 53.60 | 152.60 |
| 166 | 132.80 | 330.80 | 116 | 92.80 | 240.80 | 66 | 52.80 | 150.80 |
| 165 | 132. | 329. | 115 | 92. | 239. | 65 | 52. | 149. |
| 164 | 131.20 | 327.20 | 114 | 91.20 | 237.20 | 64 | 51.20 | 147.20 |
| 163 | 130.40 | 325.40 | 113 | 90.40 | 235.40 | 63 | 50.40 | 145.40 |
| 162 | 129.60 | 323.60 | 112 | 89.60 | 233.60 | 62 | 49.60 | 143.60 |
| 161 | 128.80 | 321.80 | 111 | 88.80 | 231.80 | 61 | 48.80 | 141.80 |
| **160** | 128. | 320. | **110** | 88. | 230. | **60** | 48. | 140. |
| 159 | 127.20 | 318.20 | 109 | 87.20 | 228.20 | 59 | 47.20 | 138.20 |
| 158 | 126.40 | 316.40 | 108 | 86.40 | 226.40 | 58 | 46.40 | 136.40 |
| 157 | 125.60 | 314.60 | 107 | 85.60 | 224.60 | 57 | 45.60 | 134.60 |
| 156 | 124.80 | 312.80 | 106 | 84.80 | 222.80 | 56 | 44.80 | 132.80 |
| 155 | 124. | 311. | 105 | 84. | 221. | 55 | 44. | 131. |
| 154 | 123.20 | 309.20 | 104 | 83.20 | 219.20 | 54 | 43.20 | 129.20 |
| 153 | 122.40 | 307.40 | 103 | 82.40 | 217.40 | 53 | 42.40 | 127.40 |
| 152 | 121.60 | 305.60 | 102 | 81.60 | 215.60 | 52 | 41.60 | 125.60 |
| 151 | 120.80 | 303.80 | 101 | 80.80 | 213.80 | 51 | 40.80 | 123.80 |

| Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. | Centigrades ou Celsius | Réaumur. | Fahrenheit. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + **50** | + 40. | +122. | + **30** | +24. | + 86. | + **10** | +8. | +50. |
| 49 | 39.20 | 120.20 | 29 | 23.20 | 84.80 | 9 | 7.20 | 48.20 |
| 48 | 38.40 | 118.40 | 28 | 22.40 | 82.40 | 8 | 6.40 | 46.40 |
| 47 | 37.60 | 116.60 | 27 | 21.60 | 80.60 | 7 | 5.40 | 44.60 |
| 46 | 36.80 | 114.80 | 26 | 20.80 | 78.80 | 6 | 4.80 | 42.80 |
| 45 | 36. | 113. | 25 | 20. | 77. | 5 | 4. | 41. |
| 44 | 35.20 | 111.20 | 24 | 19.20 | 75.20 | 4 | 3.20 | 39.20 |
| 43 | 34.40 | 109.40 | 23 | 18.40 | 73.40 | 3 | 2.40 | 37.40 |
| 42 | 33.60 | 107.60 | 22 | 17.60 | 71.60 | 2 | 1.60 | 35.60 |
| 41 | 32.80 | 105.80 | 21 | 16.80 | 69.80 | 1 | 0.80 | 33.80 |
| **40** | 32. | 104. | **20** | 16. | 68. | **0** | 0. | 32. |
| 39 | 31.20 | 102.20 | 19 | 15.20 | 66.20 | — 1 | — 0.80 | 30.20 |
| 38 | 30.40 | 100.40 | 18 | 14.40 | 64.40 | 2 | 1.60 | 28.40 |
| 37 | 29.60 | 98.60 | 17 | 13.60 | 62.60 | 3 | 2.40 | 26.60 |
| 36 | 28.80 | 96.80 | 16 | 12.80 | 60.80 | 4 | 3.20 | 24.80 |
| 35 | 28. | 95. | 15 | 12. | 59. | 5 | 4. | 23. |
| 34 | 27.20 | 93.20 | 14 | 11.20 | 57.20 | 6 | 4.80 | 21.20 |
| 33 | 26.40 | 91.40 | 13 | 10.40 | 55.40 | 7 | 5.60 | 19.40 |
| 32 | 25.60 | 89.60 | 12 | 9.00 | 53.60 | 8 | 6.40 | 17.60 |
| 31 | 24.80 | 87.80 | 11 | 8.00 | 51.80 | 9 | 7.20 | 15.80 |
| | | | | | | 10 | 8. | +14. |

## Points de fusion de diverses substances.

| SUBSTANCES. | DEGRÉS du thermomètre centigrade. de | à | SUBSTANCES. | DEGRÉS du thermomètre centigrade. de | à |
|---|---|---|---|---|---|
| Acier | 1300° | 1500° | Mercure | 39,5 | |
| Antimoine pur | 440 | 690 | Or pur | | 1250 |
| Argent *id.* environ | 1000 | | Or des monnaies, environ | | 1100 |
| Bismuth *id.* | 265 | | Phosphore | | 44,2 |
| Bronze selon la composition | 300 | 900 | Platine, environ | | 2500 |
| Cire | 60 | 80 | Plomb du commerce | 320 | 335 |
| Cuivre du commerce | 1020 | 1200 | Potassium | | 55 |
| Etain *id.* | 225 | 250 | Sodium | | 90 |
| Fer forgé | 1500 | 1700 | Soufre | 114,5 | |
| Fontes grises | 1100 | 1250 | Suif | | 33 |
| Fontes blanches | 1050 | 1100 | Scories de cuivre | | 1345 |
| Iode | 107 | | — d'étain | | 1317 |
| Litharge | | 954 | — de puddlage | | 1430 |
| | | | Zinc | 430 | 450 |

DIVERS ALLIAGES.

| | |
|---|---|
| Alliage de 8 parties avec 1 de bismuth | 200.0 |
| — 2 d'étain, 1 de bismuth | 167.7 |
| — 3 d'étain, 2 de plomb | 167.7 |
| — 1 d'étain, 1 de bismuth | 141.2 |
| — 2 de plomb, 3 d'étain, 5 de bismuth | 118.9 |
| — 1 de plomb, 3 d'étain, 5 de bismuth | 100.0 |

## Termes d'ébullition de divers liquides.

| DÉSIGNATION DES LIQUIDES. | DEGRÉS. |
|---|---|
| densités. | |
| Ether sulfurique, 0,7365 à 90° | 35,05 |
| Alcool, 0,8151 à 90° | 79,00 |
| Dissolution saturée de sulfate de soude | 100,74 |
| — — de chlorhydrate de soude | 106,86 |
| — — d'acétate de plomb | 102,04 |
| Phosphore | 290,00 |
| Huile de térébenthine | 293,00 |
| Soufre | 400,00 |
| Acide sulfurique monohydraté | 310,00 |
| Huile de lin | 387,05 |
| Mercure | 350,00 |

## Dilatations entre le terme de la congélation de l'eau, et celui de son ébullition.

| SUBSTANCES. | EN DÉCIMALES. | EN FRACTIONS ordinaires. |
|---|---|---|
| **Dilatations linéaires.** | | |
| Acier non trempé | 0,0 010 791 | 1/927 |
| Argent de coupelle | 0.0 019 097 | 1/523 |
| Cuivre | 0,0 017 173 | 1/582 |
| Cuivre jaune ou laiton | 0,0 018 782 | 1/533 |
| Etain de Falmouth | 0,0 021 730 | 1/462 |
| Fer doux, forgé | 0,0 012 205 | 1/819 |
| Fer passé à la filière | 0,0 012 350 | 1/812 |
| Or de départ | 0,0 014 661 | 1/682 |
| Plomb | 0,0 028 484 | 1/356 |
| Platine | 0,0 008 565 | 1/1167 |
| Flint glass anglais | 0,0 008 117 | 1/1246 |
| Verre de Saint-Gobin | 0,0 008 909 | 1/1122 |
| **Dilatation en volume.** | | |
| Mercure | 0,0 180 18 | 100/5550 |
| Eau | 0,0 433 | 1/23 |
| Alcool | 0,1 100 | 1/9 |
| Tous les gaz | 0,3 75 | 100/167 |

**Dilatation moyenne des gaz pour :**
**1° entre 0 et 100°, sous une pression constante et voisine de la pression normale** (RÉGNAULT).

| GAZ. | COEFFICIENT de dilatation. |
|---|---|
| Acide carbonique | 0,003 710 |
| Acide sulfureux | 0,003 903 |
| Air atmosphérique | 0,003 670 |
| Azote | 0,003 670 |
| Hydrogène | 0,003 661 |
| Protoxyde d'azote | 0.003 719 |

## Évaluation des températures élevées

(COULEUR DU PLATINE).

| SUBSTANCES. | DEGRÉS centigrades. |
|---|---|
| Rouge naissant | 0. 550 |
| Rouge sombre | 0, 700 |
| Cerise naissant | 0. 800 |
| Cerise (fusion de la fonte truitée) | 0, 900 |
| Cerise clair | 1, 000 |
| Orange foncé (fusion de l'argent) | 1, 100 |
| Orange clair (fusion de l'or) | 1, 200 |
| Blanc (fusion de l'acier) | 1, 300 |
| Blanc snant | 1, 400 |
| Blanc éblouissant | 1, 500 |

### RECUIT DE L'ACIER TREMPÉ.

Recuire un métal c'est l'exposer au feu de nouveau après avoir été trempé. L'acier possède, suivant le degré du recuit, un degré de dureté, mais en même temps de fragilité énoncé ci-après :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| La couleur. | Jaune pâle. | Jaune d'or. | Brune. | Pourpre. | Bleue claire. | Indigo. | Bleue foncée. |
| Correspond aux degrés. | 220 | 240 | 255 | 265 | 285 | 295 | 315 |
| A ces degrés l'acier est : | Sec et dur. | Coupant bien la fonte. | Bon pour outil à couper le fer. | | | Bon pour outils à bois. | Mou comme le fer. |

## ARGILES RÉFRACTAIRES.

Voici les compositions de trois argiles réfractaires célèbres.

| SUBSTANCES. | DE STOURBRIDGE. | D'ARDENNES. | DE DREUX. |
|---|---|---|---|
| Eau | 10, 30 | 18 | 12, 00 |
| Silice | 63, 20 | 51 | 50, 60 |
| Alumine | 23, 30 | 27 | 35, 28 |
| Chaux | 0, 73 | 2 | » |
| Protoxyde de fer (FeO) | 1, 80 | » | » |
| Sesquioxyde de fer ($Fe_2O_3$) | » | 2 | 0, 40 |

**Tableau du froid produit par quelques mélanges frigorifiques.**

| DÉSIGNATION DES MÉLANGES. | ABAISSEMENT de TEMPÉRATURE. | FROID produit. |
|---|---|---|
| Eau, 16 parties; nitre, 5; hydrochlorate d'ammoniaque, 5 | de + 10° à — 12° | 22° |
| Eau, 16; hydrochlorate d'ammoniaque, 5; nitre, 5; sulfate de soude, 8 | de + 10° à — 16° | 26 |
| Eau, 1; nitrate d'ammoniaque, 1 | de + 10° à — 16° | 26 |
| Eau, 1; nitrate d'ammoniaque, 1; sous-carbonate de soude | de + 10° à — 19° | 29 |
| Eau, 4; chlorure de potassium, 57; chlorhydrate d'ammoniaque, 32; nitrate de potasse, 20 | » | 15 |
| Neige ou glace pilée, 2; sel marin, 1 | » | 20 |
| Neige ou glace pilée, 5; sel marin, 2; sel ammoniac, 1 | » | 24 |
| Neige ou glace pilée, 24; sel marin, 10; sel ammoniac, 5; nitre, 5 | » | 28 |
| Neige ou glace pilée, 12; sel marin, 5; nitrate d'ammoniaque, 5 | » | 31 |
| Sulfate de soude, 3; acide azotique étendu, 2 | de + 10° à — 19° | 29 |
| Sulfate de soude, 6; sel ammoniac, 4; nitre, 2; acide azotique étendu, 4 | de + 10° à — 23° | 33 |
| Sulfate de soude, 6; nitrate d'ammoniaque, 5; acide azotique étendu, 4 | de + 10° à — 26° | 36 |
| Phosphate de soude, 9; acide azotique étendu, 4 | de + 10° à — 29° | 39 |
| Sulfate de soude, 20; acide sulfurique à 36°, 16 | de + 10° à — 8°,15 | 18° à 15 |
| Sulfate de soude, 22; résidu d'éther à 33°, 17 | de + 10° à — 8° | 18 |
| Sulfate de soude, 8; acide chlorhydrique, 5 | de + 10° à — 17° | 27 |

## CHALEUR SPÉCIFIQUE.

*Unité de chaleur.* — L'unité de chaleur ou *calorie* est la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kil. d'eau de 0° à 1° centigrade.

La *chaleur spécifique* d'un corps, pris à une température donnée, est le nombre de calories nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kil. de ce corps

**Chaleur spécifique de l'eau** d'après M. REGNAULT.

| TEMPÉRATURES données. | MOYENNE. | TEMPÉRATURES données. | MOYENNE. |
|---|---|---|---|
| De 0 à 50 | 1,0017 | De 0 à 150 | 1,0097 |
| 100 | 1,0050 | 160 | 1,0109 |
| 110 | 1,0058 | 170 | 1,0121 |
| 120 | 1,0067 | 180 | 1,0133 |
| 130 | 1,0076 | 190 | 1,0146 |
| 140 | 1,0087 | 200 | 1,0160 |

Lorsqu'on porte 1 kil. d'eau de 0° à la température $t$, le nombre Q de calories absorbé est exprimé par la formule empirique

$$Q = t + 0{,}00002\,t^2 + 0{,}000000\,t^3.$$

**Chaleurs spécifiques,** d'après M. Regnault.

| DÉSIGNATION DES CORPS | CHALEURS spécifiques moyennes de 0 à 100 degrés. | DÉSIGNATION DES CORPS. | CHALEURS spécifiques moyennes de 0 à 100 degrés. |
|---|---|---|---|
| Fer | 0,11379 | Charbon de l'anthracite du pays de Galles | 0,02172 |
| Zinc | 0,09555 | Graphite naturel | 0,20187 |
| Cuivre | 0,09515 | Térébenthine | 0,4672 |
| Argent | 0,05701 | Essence de térébenthine | 0,4160 |
| Plomb | 0,03140 | Alcool ordinaire à 36 degrés | 0,6588 |
| Bismuth | 0,03084 | | |
| Antimoine | 0,05077 | | |
| Étain anglais | 0,05695 | | |
| Platine laminé | 1,0696 | | MOYENNES de 0 à 15 degrés. |
| Or | 0,03244 | | |
| Acier doux | 0,1165 | | |
| Acier trempé | 0,11750 | | |
| Fonte de fer blanche de Bourgogne | 0,12983 | | |
| Mercure | 0,03332 | | |
| Laiton | 0,09391 | Benzine | 0,3932 |
| Verre | 0,19768 | Sulfure de carbone | 0,2206 |
| Charbon de bois | 0,24150 | Éther | 0,5157 |
| Coke de la houille | 0,20085 | Alcool | 0,6148 |

*Chaleur spécifique des fluides élastiques.* — La définition précédente suppose que les gaz se dilatent librement *sous pression constante.*

**Chaleurs spécifiques de quelques fluides sous pression constante,** d'après M. Regnault.

| DÉSIGNATION DES FLUIDES. | CHALEURS spécifiques. | DÉSIGNATION DES FLUIDES. | CHALEURS spécifiques. |
|---|---|---|---|
| Air atmosphérique | 0,2375 | Gaz ammoniac | 0,5080 |
| Oxygène | 0,2182 | Vapeur d'eau | 0,4750 |
| Azote | 0,2440 | — d'alcool | 0,4513 |
| Hydrogène | 0,3056 | — d'éther | 0,4810 |
| Acide carbonique | 0,2164 | — de chloroforme | 0,1568 |

Pour les fluides élastiques, il y a lieu de distinguer cette chaleur spécifique sous pression constante de la chaleur spécifique *sous volume constant*, celle-ci se rapportant au cas où le fluide élastique est maintenu sous le même volume durant que sa température varie.

La chaleur spécifique sous pression constante $a$, est plus grande que la chaleur spécifique sous volume constant $b$. Jusqu'ici cette dernière n'a pas été déterminée directement. Pour l'air, on s'accorde à adopter le rapport

$$\frac{a}{b} = 1,41.$$

## CHALEUR LATENTE

La *chaleur latente de liquéfaction* ou de *vaporisation* est la quantité de chaleur qu'absorbe un corps, lorsqu'il passe de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état de vapeur. Cette quantité de chaleur s'exprime en calories.

**Chaleur latente de liquéfaction de diverses substances.**

| DÉSIGNATION DES CORPS. | CHALEUR latente. | DÉSIGNATION DES CORPS. | CHALEUR latente. |
|---|---|---|---|
| Eau | 79,25 | Étain | 14,25 |
| Phosphore | 5,03 | Plomb | 5,37 |
| Soufre | 9,37 | Zinc | 28,13 |
| Phosphate de soude | 66,80 | Argent | 21,07 |

*Chaleur latente de vaporisation de l'eau.* — Soit L la chaleur totale exprimée en calories, que 1 kil. de vapeur d'eau, saturée à $t$, abandonne en passant à l'état de 1 kil. d'eau à 0. On a d'après M. Regnault :

$$L = 606,5 + 0,305\,t.$$

On prend pour valeur de la chaleur latente de vaporisation, la différence entre la valeur de L et celle de la quantité Q exprimée par la formule page 265 (Voir le tableau page 265).

## Chaleur latente de vaporisation de diverses substances sous la pression atmosphérique

| SUBSTANCES. | CHALEURS latentes. | SUBSTANCES. | CHALEURS latentes. |
|---|---|---|---|
| Eau | 536 | Carbure d'hydrogène | 60 |
| Esprit de bois | 264 | Acide acétique | 102 |
| Alcool absolu | 208 | Essence de térébenthine | 69 |
| Éther sulfurique | 91 | Essence de citron | 70 |

## Évaporation de l'eau à l'air calme à diverses températures et par mètre carré de surface d'eau.

| TEMPÉRATURE. | POIDS D'EAU évaporisée. | TEMPÉRATURE. | POIDS D'EAU évaporisée. |
|---|---|---|---|
| Degrés centigr. | kil. | Degrés centigr. | kil. |
| 20 | 0, 32 | 60 | 2, 70 |
| 30 | 0, 50 | 70 | 4, 32 |
| 40 | 1, 00 | 80 | 6, 64 |
| 50 | 1, 7 | 90 | 10, 00 |

## Poids de la vapeur d'eau renfermée dans un mètre cube d'air saturé, à différentes températures.

| TEMPÉRATURES. | POIDS en grammes. | TEMPÉRATURES. | POIDS en grammes. |
|---|---|---|---|
| **0°** | 4, 87 | **50°** | 82, 36 |
| 5 | 6, 76 | 55 | 103, 65 |
| 10 | 9, 30 | 60 | 129, 23 |
| 15 | 12, 76 | 65 | 160, 05 |
| 20 | 17, 21 | 70 | 196, 65 |
| **25** | 22, 81 | **75** | 239, 91 |
| 30 | 29, 09 | 80 | 290, 73 |
| 35 | 39, 27 | 85 | 350, 04 |
| 40 | 50, 75 | 90 | 418, 92 |
| 45 | 64, 97 | 95 | 498, 49 |
| **50** | 82, 36 | **100** | 591, 30 |

**Correspondance entre la tension de la vapeur d'eau saturée et la température** (Voir aussi *Machines à vapeur*).

| TENSION DE LA VAPEUR. | | | TEMPÉRATURES en degrés centigrades correspondant aux différentes pressions | TENSION DE LA VAPEUR. | | | TEMPÉRATURES en degrés centigrades correspondant aux différentes pressions. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| En atmosphères. | En millimètres de hauteur de mercure | En kilogrammes par centimètres carrés. | | En atmosphères. | En millimètres de hauteur de mercure | En kilogrammes par centimètres carrés. | |
| **0,25** | 190 | 0,269 | 63°357 | **5,25** | 3990 | 5,427 | 154°068 |
| 0,50 | 380 | 0,518 | 81 707 | 5,50 | 4180 | 5,685 | 155 846 |
| 0,75 | 579 | 0,776 | 92 149 | 5,75 | 4370 | 5,943 | 157 560 |
| 1,00 | 760 | 1,034 | 100 000 | 6,00 | 4560 | 6,201 | 159 218 |
| 1,25 | 950 | 1,293 | 106 356 | 6,25 | 4750 | 6,461 | 160 821 |
| 5,50 | 1140 | 1,551 | 111 739 | 6,50 | 4940 | 6,719 | 162 374 |
| 1,75 | 1330 | 1,809 | 116 429 | 6,75 | 5130 | 6,977 | 163 882 |
| 2,00 | 1520 | 2,067 | 120 598 | 7,00 | 5320 | 7,235 | 165 344 |
| 2,25 | 1710 | 2,326 | 124 362 | 7,25 | 5510 | 7,494 | 166 766 |
| 2,50 | 1900 | 2,584 | 127 799 | 7,50 | 5700 | 7,752 | 168 151 |
| **2,75** | 2090 | 2,842 | 130 968 | **7,75** | 5890 | 8,010 | 169 498 |
| 3,00 | 2280 | 3,100 | 133 910 | 8,00 | 6080 | 0,268 | 170 813 |
| 3,25 | 2470 | 3,360 | 136 659 | 9,00 | 6810 | 9,302 | 175 767 |
| 3,50 | 2660 | 3,618 | 139 243 | 10,00 | 7600 | 10,336 | 180 306 |
| 3,75 | 2850 | 3,876 | 141 682 | 12,00 | 9120 | 12,396 | 190 00 |
| 4,00 | 3040 | 4,134 | 144 000 | 15,00 | 11400 | 15,495 | 200 48 |
| 4,25 | 3230 | 4,394 | 146 194 | 20,00 | 15200 | 20,660 | 214 70 |
| 4,50 | 3420 | 4,652 | 148 290 | 25,00 | 19000 | 25,825 | 226 30 |
| 4,75 | 3610 | 4,910 | 150 296 | 30,00 | 22800 | 30,990 | 236 30 |
| 5,00 | 3800 | 5,168 | 152 219 | 35,00 | 26600 | 36,155 | 244 85 |

*Densité de la vapeur d'eau saturée à diverses températures. Vitesse d'écoulement de la vapeur d'eau.* — Plus loin ces éléments sont donnés conformément aux indications de la théorie mécanique de la chaleur (Voir *Machines à vapeur*).

**Force expansive de la vapeur d'alcool et d'éther sulfurique à diverses températures.**

| ALCOOL. | | ALCOOL. | | ÉTHER. | | ÉTHER. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TEMPÉRATURE en degrés centigrades | FORCE expansive en atmosphères. | TEMPÉRATURE en degrés centigrades. | FORCE expansive en atmosphères. | TEMPÉRATURE en degrés centigrades. | FORCE expansive en atmosphères. | TEMPÉRATURE en degrés centigrades. | FORCE expansive en atmosphères. |
| —15° | 0,010 | +60 | 0,500 | +37°8 | 1,0 | 174 | 28 |
| 0 | 0,025 | 65 | 0,610 | 100 | 5,6 | 184 | 37 |
| +5 | 0,033 | 70 | 0,740 | 112 | 8 | 200 | 48 |
| 10 | 0,045 | 75 | 0,90 | 125 | 10 | 278 | 100 |
| 25 | 0.100 | 78 | 1,00 | 130 | 12 | 300 | 120 |
| 50 | 0,330 | 115 | 1,60 | 150 | 18 | 322 | 130 |
| 55 | 0,410 | 130 | 2,52 | 160 | 20 | | |

A 78° et sous la pression atmosphérique l'alcool bout.

A 184° et 37 atmosphères tout l'éther se réduit en vapeur dans un espace moindre que 2 fois son volume primitif.

---

## COMBUSTIBLES.

### ANALYSE DE LA HOUILLE ET DU COKE.

La proportion respective des éléments est très-variable suivant les localités et même suivant les couches. Les 300 échantillons étalés à l'Exposition universelle de Paris, en 1855, comme représentant les principales variétés des houillères des îles Britanniques, ont offert en résumé les compositions et proportions suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMPOSITION. | Carbone | de 68,72 p. 100 | à 97,60 p. 100. |
| | Hydrogène | 2,99 | 6,60 |
| | Nitrogène ou azote | 0,50 | 2,20 |
| | Soufre | 0,06 | 3,50 |
| | Oxygène | 0,50 | 12,84 |
| Cendres | | 0,20 | 14,30 |
| Poids spécifique | | 1,10 | 1,93 |
| Kilogr. d'eau vaporisée pour 1 kilog. de houille (Expérience de laboratoire) | | 7,04 | 10,75 |

Les 300 échantillons ci-dessus provenaient de 55 localités extrayant ensemble annuellement 5,000,000 de tonnes.

**Composition des houilles**

| NATURE du combustible. | PROVENANCE. | CARBONE. | HYDROGÈNE. | OXYGÈNE, azote. | CENDRES. |
|---|---|---|---|---|---|
| Houille grasse et dure. | *Française*, Alais (Rochebelle) | 89,27 | 4,85 | 4,47 | 1,41 |
| | *Française*, Rive-de-Gier (Henri) | 87,65 | 4,90 | 4,29 | 2,96 |
| Houille grasse Maréchale. | *Française*, Rive-de-Gier (Grande-Croix) | 87,45 | 5,14 | 5,63 | 1,78 |
| | *Anglaise*, Newcastle (Richardson) | 87,95 | 5,24 | 5,41 | 1,40 |
| Houille grasse à longue flamme. | *Française*, Rive-de-Gier. Couson | 82,04 | 5,27 | 9,12 | 3,57 |
| | *Française*, Rive-de-Gier. Cimetière | 82,58 | 5,59 | 9,11 | 2,72 |
| | *Belge*, Mons | 83,87 | 5,42 | 7,03 | 3,68 |
| | *Anglaise*, Lancashire | 83,75 | 5,06 | 8,04 | 2,55 |
| | *Française*, Commentry | 82,79 | 5,23 | 11,75 | 0,24 |
| Houille sèche à longue flamme. | *Française*, Blanzy | 76,48 | 5,23 | 16,01 | 2,28 |
| | | 89,50 | 1,67 | 7,83 | 1,00 |

# QUANTITÉS DE CHALEUR DÉVELOPPÉES

## PAR UN KILOGRAMME DES DIVERS COMBUSTIBLES.

| NATURE DES COMBUSTIBLES. | COMPOSITION de la PARTIE COMBUSTIBLE. | QUANTITÉS de chaleur développées en calories. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|
| Hydrogène carboné | Hydrogène . . 0 25<br>Carbone . . . 0 75 | 6622 | Dalton. |
| Gaz oléfiant | Hydrogène . . 0 1/7<br>Carbone . . . 0 6/7 | 6833 | |
| Oxyde de carbone | Carbone . . . 0 43 | 1944 | |
| Alcool | Hydrogène . . 0 1224<br>Carbone . . . 0 4785 | 6194 | Rumfort |
| Ether sulfurique | Hydrogène . . 0 133<br>Carbone . . . 0 596 | 8030 | |
| Huile de térébonthine | Hydrogène . . 0 0962<br>Carbone . . . 0 825 | 4667 | Dalton. |
| Naphte | Hydrogène . . 0 123<br>Carbone . . . 0 83 | 7333 | |
| Huile d'olive | Hydrogène . . 0 1336<br>Carbone . . . 0 702 | 9000 | Rumford. |
| Huile de navette ou de Colza | . . . . . | 9300 | |
| Cire jaune | . . . . . | 10344 | Laplace. |
| Cire blanche | . . . . . | 9820 | Rumford. |
| Suif | . . . . . | 8370 | |
| Houille collante de Newcastle | Hydrogène . . 0 0416<br>Carbone . . . 0 7516 | 5123 | Watt. |
| Houille, *dite* Cherry de Glascow | Hydrogène . . 0 100<br>Carbone . . . 0 666 | 6776 | Tredgold. |
| Houille à feuillets de Glascow | Hydrogène . . 0 044<br>Carbone . . . 0 568 | 4630 | |
| Houille à longue flamme. Cannel coal des environs de Coventry | Hydrogène . . 0 200<br>Carbone . . . 0 626 | 9501 | |
| Cannel coal de Woodhall, près de Glascow | Hydrogène . . 0 039<br>Carbone . . . 0 722 | 5424 | |
| Charbon de bois sec ou distillé | . . . . . | 7050 | |
| Charbon de bois ordinaire | . . . . . | 6000 | Contenant 0,20 d'eau. |
| Coke pur | . . . . . | 7050 | |
| Houille de 1re qualité | . . . . . | 7050 | Contenant 0,02 cendres. |
| Houille de 2e qualité | . . . . . | 5345 | 0,10 — |
| Houille de 3e qualité | . . . . . | 5932 | 0,20 — |
| Bois séché au feu | . . . . . | 3666 | 0,52 charbon. |
| Bois séché à l'air | . . . . . | 2945 | 0,20 d'eau. |
| Tourbe ordinaire | . . . . . | 1500 | |
| Tourbe de 1re qualité | . . . . . | 3000 | |

**Puissances calorifiques et pouvoirs rayonnants des différents combustibles, avec les volumes d'air nécessaires à leur combustion, et ceux qui se dégagent par les cheminées, pour 1 kilogramme de combustible.**

| DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES. | PUISSANCES calorifiques. | POUVOIRS rayonnants. | VOLUMES d'air froid. | VOLUMES de gaz qui se dégagent (1 + at.) |
|---|---|---|---|---|
| Bois sec | 3 600 | 0 28 | 6, 75 | 7, 34 |
| Bois ordinaire à 0,20 d'eau | 2 800 | 0. 25 | 5, 40 | 6, 11 |
| Charbon de bois | 7 000 | 0, 50 | 16, 40 | 16, 40 |
| Tourbe sèche | 4 800 | 0, 25 | 11, 28 | 11, 73 |
| Tourbe à 0,20 d'eau | 3 600 | 0, 25 | 9, 02 | 9, 65 |
| Charbon de tourbe | 5 800 | 0, 50 | 13, 20 | 13, 20 |
| Houille moyenne | 7 500 | Plus que le charbon de bois | 18, 10 | 18, 44 |
| Coke à 0,15 de cendres | 6 000 | | 15, 00 | 15, 00 |

**Quantité de vapeur produite par 1 kilogramme des différents combustibles en usage et nombres indiquant leurs puissances calorifiques relatives.**

| NATURE DES COMBUSTIBLES. | VAPEUR produite par 1 kilog. de combustible | PUISSANCES calorifiques relatives. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|
| Houille grasse de Mons | 5 | 0, 80 | 4 à 5 atmosphères. |
| | 6, 25 | 1 | 1 atmosphère |
| | 7 | 1, 12 | Évaporation lente. |
| Houille très-cassante, en petits morceaux | 4, 50 | 0, 72 | Haute pression. |
| Houille très-cassante, en petits morceaux | 5 | 0, 80 | Basse pression. Chaudières ordinaires, à haute pression. |
| Coke fabriqué au four, première qualité | 5 | 0, 80 | Locomotives. |
| Coke fabriqué au four, première qualité | 5, 80 | 0, 92 | |
| Bois de sapin et hêtre, de 13 mois | 2, 70 | 0, 43 | Basse pression. |
| Bois de chêne | 2, 60 | 0, 40 | |
| Charbon de bois | 6 | 0, 96 | |
| Lignite | 3, 50 | 0, 56 | |
| Tourbe, première qualité | 2, 70 | 0, 43 | |
| Tourbe compacte, comprimée | 4 | 0, 64 | |
| Tannée séchée | 2 | 0, 32 | |

# GOUDRONS ET LEURS DÉRIVÉS.

**Produits volatils de la distillation des goudrons provenant du gaz d'éclairage**
(d'après la *Nouvelle Technologie des arts et métiers*. Lib. E. Lacroix).

| | DÉSIGNATIONS. | COMPOSITION. | DENSITÉ du liquide. | POINT d'ébullition en degrés centigrades. |
|---|---|---|---|---|
| Corps acides. | Acide phénique | $C^{12}H^{5}O+HO$ | 1,065 | 188° |
| | Acide rosalique et acide xylique en très-petites proportions | » | » | » |
| Corps alcalins. | Aniline | $C^{12}H^{7}Az$ | 1,028 | 182 |
| | Quinoléine | $C^{18}H^{7}Az$ | 1,081 | 230 |
| | Pyridine | $C^{10}H^{5}Az$ | » | 150 |
| | Lutudine | $C^{14}H^{9}Az$ | » | 154 |
| | Lepidine | $C^{20}H^{9}Az$ | » | 260 |
| | Collidine | $C^{16}H^{11}Az$ | 0,921 | 179 |
| | Petinine | $C^{8}H^{11}Az$ | » | 80 |
| | Picoline | $C^{12}H^{7}Az$ | 0,955 | 133 |
| | Pyrrhol, Cryptidine, Parvoline | » | » | » |
| Corps neutres ou hydrocarbures. | Benzine | $C^{12}H^{6}$ | 0,850 | 81 à 86° |
| | Toluène | $C^{14}H^{8}$ | 0,870 | 105 à 110 |
| | Cumène | $C^{18}H^{12}$ | » | 151 |
| | Xylène | » | » | 127 |
| | Cymène | $C^{20}H^{14}$ | 0,861 | 175 |
| | Naphtaline | $C^{20}H^{8}$ | 1,048 | 217 |
| | Paranaphtaline | $C^{30}H^{12}$ | » | 300 |
| | Anthracène | $C^{28}H^{10}$ | » | Au-dessus de 300 |
| | Chrysène | $C^{12}H^{4}$ | » | |
| | Pyrène | $C^{30}H^{12}$ | » | |
| | Eupionne | CH | » | 169 |
| | Propylène | $C^{6}H^{6}$ | » | Volatile |
| | Butylène | $C^{8}H^{8}$ | » | » |
| | Amylène | $C^{10}H^{10}$ | » | 39 |

## COMPOSITION DES EAUX.

(Voir *l'Annuaire des eaux de France.*)

*L'eau pure contient* { en poids 89 oxygène et 11 hydrogène.
en volume 1 id. 2 id.

*En dissolution*, il s'y trouve principalement mêlé les substances suivantes : 1° Carbonate de chaux ; 2° Sulfate de chaux, nuisible à l'hygiène, formant dans les chaudières un sel cristallisable très-dur, se précipite au fond du réservoir alimentaire par la barythe ; 3° Sel de magnésie, d'alumine et soude, peu nuisible et peu abondant d'ailleurs, en général, sauf dans l'eau de mer ; 4° Silice, donne des dépôts très-durs dans les chaudières.

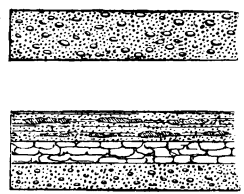
Ces substances se trouvent dissoutes dans l'eau dans les proportions suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Eau de mer (Océan). . . . | de 0.00323 (Faraday). | |
| | à 0.00380 (Murray). | |
| id. (Méditerranée). | 0.00395. . . . . | |
| Eaux douces bonnes. . . . | de 0.00010 Rhône (Bineau). | |
| | à 0.00025 Seine (Mercier). | |
| Eaux de source mauvaises. | de 0.00106 Nied (Barral). | |
| | à 0.00252 (Boutron-Charlard). | |

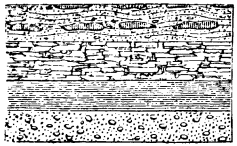
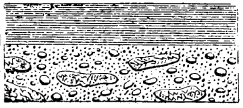
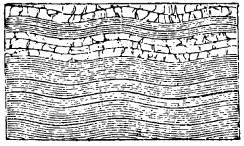
*En suspension*, les eaux peuvent contenir de la vase qui se précipite par un simple repos dans le réservoir.

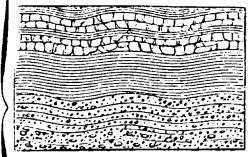
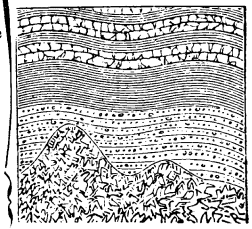
## TABLEAU. — FORMATION DES TERRAINS

D'APRÈS L'EXPLICATION DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE PAR MM. DUFRÉNOY ET ÉLIE DE BEAUMONT (1)

| ÈRE | SOUS-GROUPE de formations. | FIGURES. | NOMS DES FORMATIONS. | DIVISIONS PALÉONTOLOGIQUES admises par A. d'Orbigny. |
|---|---|---|---|---|
| ALLUVIONS. | L'homme existe sur la surface du globe. | | *Terrains d'alluvion*, volcans modernes éteints et brûlants : Les grands volcans des Andes ont été soulevés pendant cette période. | |
| TERRAINS TERTIAIRES. | Les mammifères commencent à paraître à la partie inférieure de ce groupe, et deviennent très-abondants vers son milieu. |  | SYSTÈME DE LA CHAINE PRINCIPALE DES ALPES. Direction : E. 16° N. *Terrain tertiaire supérieur* (terrain pliocène), terrains subapennins, sables des landes, alluvions anciennes de la Bresse, tuf à ossements de l'Auvergne. Les éruptions de trachytes et de basaltes correspondent, en grande partie, à cette époque. | Subapennin |
| | | | SYSTÈME DES ALPES OCCIDENTALES. Direction : N 26° E. à S. 26° O. *Terrains tertiaires moyens.* (Terrain miocène). Faluns de la Touraine. Calcaire d'eau douce avec meulière : contient beaucoup de lignites dans le midi de la France et en Allemagne. Grès de Fontainebleau. | Falunien. Tongrien. |
| | | | SYSTÈME DES ILES DE CORSE ET DE SARDAIGNE. Direction : N. S. *Terrains tertiaires inférieurs.* (Terrain eocène ou nummulitique.) Marnes avec gypse, ossements de mammifères. Calcaire grossr, pierre de taille de Paris. Argile plastique, lignites du Soissonnais. | Parisien. Suessonien. |

| ORDRE | SOUS-GROUPE de formations. | FIGURES. | NOMS DES FORMATIONS | DIVISIONS admises par A. d'Orbigny. |
|---|---|---|---|---|
| TERRAINS SECONDAIRES | Terrains crétacés. | | SYSTÈME DE LA CHAINE DES PYRÉNÉES ET DE CELLE DES APENNINS. Direction : E. 18° S. à O. 18° N. — *Craie supérieure.* Couches avec silex. Couches sans silex. | Sénonien. |
| | | | SYSTÈME DU MONT-VISO. Direction : N.-N.-O. à S.-S.-E. — *Craie inférieure.* Craie tuffeau. Grès vert. Grès et sables ferrugineux, terrain néocomien, formation wealdienne. | Turonien. Cénomanien. Albien. Aptien, Urgonien, néocomien. |
| | Terrains de calcaire du Jura. Abondance considérable de sauriens. Calcaire oolithique. | | SYSTÈME DE LA CÔTE-D'OR. Direction : E. 40° N. à O. 40° S. — *Étage supérieur.* Calcaire de Portland. Argile de Kimmerigde, argile de Honfleur. | Portlandien. Kimmeridgien |
| | | | *Étage moyen.* Oolithe d'Oxford, calcaire de Lisieux, coral-rag. Argile d'Oxford, argile de Dives. | Corallien. Oxfordien. |
| | | | *Étage inférieur.* Corn-brash et forest-marble (calcaire à polypiers). grande oolithe (calcaire de Caen), fuller's-earth (banc bleu de Caen), oolithe inférieure. Marnes et calcaires à bélemnites, marnes supérieures du lias, lignites dans les départ^s du Tarn et de la Lozère. | Callovien. Bathonien. Bajocien Toarcien. |
| | | | *Lias ou calcaire à gryphites.* Calcaire à gryphées arquées. Grès du lias, ou infralias que, dolomies. | Liasien. Sinémarien. |

| ORDRE | SOUS-GROUPE de formations. | FIGURES. | NOMS DES FORMATIONS | DIVISIONS admises par A. d'Orbigny. |
|---|---|---|---|---|
| TERRAINS SECONDAIRES. | Trias. |  | SYSTÈME DE THURINGERWALD.<br>(Les serpentines du centre de la France appartiennent à ce système.)<br>Direction : O. 40° N. à E. 40° S.<br>*Marnes irisées*, avec amas de gypse et de sel. Exploitation de lignites en Alsace, en Lorraine et dans la Haute-Saône.<br>*Muschelkalk.*<br>*Grès bigarré.* | Saliférien.<br>Conchylien. |
| | | | SYSTÈME DU RHIN.<br>Direction : N. 21° E. à S. 21° O.<br>Grès des Vosges. | |
| | |  | SYSTÈME DES PAYS-BAS ET DU SUD DU PAYS DE GALLES.<br>Direction : E. 5° N à O. 5° S.<br>*Zechstein* (calcaire magnésien des Anglais), schistes à poissons du Mansfeld, riches en cuivre.<br>*Grès rouge :* contient des masses de porphyre et des rognons d'agate. | Permien. |
| TERRAINS DE TRANSITION | Ce groupe est caractérisé par la grande abondance de cryptogames |  | SYSTÈME DU N. DE L'ANGLETERRE.<br>Direction : S. 5° E. à N. 5° O.<br>*Terrain houiller.* Grès, schistes avec couches de houille et fer carbonaté. Calcaire carbonifère, ou calcaire bleu, avec couches de houille. | Carboniférien. |

| ORDRE | SOUS-GROUPE de formations. | FIGURES. | NOMS DES FORMATIONS | DIVISIONS admises par A. d'Orbigny. |
|---|---|---|---|---|
| TERRAINS DE TRANSITION. | vasculaires et par l'absence presque complète des plantes dicotylédones ; les animaux vertébrés n'y sont représentés que par quelques empreintes de poissons. | | SYSTÈME DES BALLONS (Vosges), ET DES COLLINES DU BOCAGE DE LA NORMANDIE.<br>Direction : E. 15° S. à O. 15° N.<br>*Terrain de transition supérieure.* Vieux grès rouge des Anglais (système Devonien.) Anthracite de la Sarthe et des environs d'Angers. | Devonien. |
| | |  | *Terrain de transition moyen.* Calcaire des environs de Brest, calcaire de Dudley. Schistes (ardoises d'Angers). | Murchisonien. |
| | | | Grès quartzite, caradoc sandstone des Anglais. (Système silurien.) | Silurien |
| | |  | SYSTÈME DE WESTMORELAND ET DU HUNDSRUCK.<br>Direction : E. 35° N. à O. 35° S.<br>*Terrain de transition inférieur.* Calcaire compacte esquilleux. Schiste argileux (système cambrien). | Cambrien. |
| | TERRAINS GRANITIQUES. | | GRANITE FORMANT LA BASE PRINCIPALE DE LA CROUTE DU GLOBE. | |

# MACHINES A VAPEUR

## PRINCIPALES DIMENSIONS

*Cheval-vapeur.* — Valeur industrielle consacrée : 75 kilogrammètres par seconde de temps.

Le *cheval nominal* qui est en usage dans la marine est une unité commerciale qui n'a pas toujours eu, et qui n'a pas dans tous les pays la même valeur.

Il est essentiel de faire connaître ce que vaut, en kilogrammètres, le cheval nominal dont on parle, lorsqu'on veut préciser la puissance d'un appareil.

### RÈGLE DE L'AMIRAUTÉ ANGLAISE POUR CALCULER LA FORCE NOMINALE EN CHEVAUX D'UNE MACHINE MARINE A CONDENSATION.

(Traduit de l'*Enginer Book Poket*, 1857).

Multiplier l'aire A du cylindre en pouces carrés par 7 livres de pression, puis par la vitesse $v$ du piston en pieds par minute; divisez ensuite par 33000; le quotient donnera le nombre F de chevaux nominaux demandé. Ainsi la formule est :

$$F = \frac{A \times 7 \times v}{33000}.$$

*Règle française moderne.* — En France, aujourd'hui, la puissance nominale est le quart de la puissance effective (en chevaux de 75 kilogr.) que la machine peut développer à toute vapeur sur les pistons moteurs.

*Travail utile.* — $0^m,80$ du travail théorique pour les meilleures et fortes machines en parfait état d'entretien. Le coefficient pour l'état moyen d'entretien est, suivant la force :

| | Chevaux. | | Chevaux. |
|---|---|---|---|
| 0,40 au-dessous de. | 12 | 0,55 de . . . . . | 100 à 300 |
| 0,45 pour force de. | 12 à 30 | 0,60 de . . . . . | 300 à 500 |
| 0,50 pour force de. | 30 à 100 | 0,70 au-dessus de. | 500 |

*Vitesse du piston.* — Machines fixes, 1 mètre à $1^m,30$ par seconde; locomotives, jusqu'à 3 mètres; machines marines à moyenne pression, jusqu'à 2 mètres.

*Quantité d'eau à injecter pour la condensation.* — Environ

250 litres par cheval et par heure. Le produit de la condensation ne doit guère excéder 45 degrés de température.

*Longueur des bielles motrices.* — En principe, 2 fois $^1/_2$ la course du piston; au minimum, 1 fois $^1/_2$.

*Surfaces frottantes.* — Charge de 30 à 35 kilogr. par centimètre carré, et 25 au plus si des chocs sont à craindre.

*Surfaces de chauffe des chaudières.* — Au moins 1 mètre par cheval avec un tirage naturel et une combustion peu active; $0^m,50$ avec un tirage forcé.

*Hauteur des cheminées.* — Tirage naturel, 8 mètres; tirage forcé, $2^m,50$ au minimum.

*Soupapes de sûreté.* — Prescription de l'ordonnance de 1843, encore suivie par les constructeurs, sans qu'il y ait obligation. Deux soupapes ayant chacune un diamètre D.

$D = \sqrt{\frac{S}{n - 0,412}} \times 2,6$ dans laquelle : D est le diamètre de la soupape en centimètres; S la surface de chauffe en mètres carrés, et $n$ la pression absolue de la vapeur en atmosphères.

Le décret du 25 janvier 1865 abroge l'ordonnance de 1843; il prescrit de marquer sur les timbres des chaudières, non la pression absolue $n$ en atmosphères, mais la pression effective K en kilogrammes. La formule de 1843 devient alors :

$$D = \sqrt{\frac{S}{\left(\frac{K + 1^k,033}{1^k,033}\right) - 0,412}} \times 2,6.$$

*Épaisseur des chaudières.* — D'après l'ordonnance du 22 mai 1843, l'épaisseur des chaudières en tôle était déterminée à l'aide de la formule :

$$e = 1,8\,D\,(n - 1) + 3.$$

$e$, épaisseur en millimètres;
D, diamètre de la chaudière en mètres;
$n$, tension absolue de la vapeur en atmosphères.

Le tableau suivant donne le diamètre D, d'après la formule précédente.

| SURFACE DE CHAUFFE de la chaudière. | INDICATION DU TIMBRE — NOMBRE D'ATMOSPHÈRE ABSOLUE *n* (ORDONN. 1843), OU NOMBRE DE K KILOGRAMMES DE PRESSION EFFECTIVE (DÉCRET 1865). | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Atm. 1 1/2 ou 0k,516 | Atm. 2 ou 1k,033 | Atm. 2 1/2 ou 1k,549 | Atm. 3 ou 2k,066 | Atm. 3 1/2 ou 2k,582 | Atm. 4 ou 3k,099 | Atm. 5 ou 4k,132 | Atm. 6 ou 5k,165 | Atm. 7 ou 6k,198 | Atm. 8 ou 7k,231 |
| m. c. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. | mill. |
| **1** | 25 | 21 | 18 | 16 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| 2 | 35 | 29 | 25 | 23 | 20 | 19 | 17 | 16 | 15 | 13 |
| 3 | 43 | 36 | 31 | 29 | 26 | 24 | 21 | 19 | 17 | 15 |
| 4 | 50 | 41 | 36 | 32 | 29 | 27 | 24 | 22 | 20 | 19 |
| **5** | 56 | 46 | 40 | 36 | 33 | 31 | 27 | 24 | 22 | 21 |
| 6 | 61 | 50 | 44 | 39 | 36 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 |
| 7 | 66 | 54 | 48 | 43 | 39 | 37 | 32 | 29 | 27 | 25 |
| 8 | 70 | 58 | 51 | 46 | 42 | 39 | 34 | 31 | 29 | 27 |
| 9 | 75 | 62 | 54 | 48 | 44 | 41 | 36 | 33 | 30 | 28 |
| **10** | 79 | 65 | 57 | 51 | 47 | 43 | 38 | 35 | 32 | 30 |
| 11 | 83 | 68 | 60 | 54 | 49 | 45 | 40 | 36 | 33 | 31 |
| 12 | 87 | 71 | 62 | 56 | 51 | 47 | 42 | 38 | 35 | 33 |
| 13 | 90 | 74 | 65 | 58 | 53 | 49 | 44 | 40 | 36 | 34 |
| 14 | 93 | 77 | 67 | 60 | 55 | 51 | 45 | 41 | 37 | 35 |
| **15** | 96 | 80 | 70 | 62 | 57 | 53 | 47 | 42 | 38 | 36 |
| 16 | 100 | 82 | 72 | 65 | 59 | 55 | 48 | 44 | 40 | 38 |
| 17 | 103 | 85 | 74 | 67 | 61 | 56 | 50 | 45 | 42 | 39 |
| 18 | 106 | 87 | 76 | 68 | 63 | 58 | 51 | 47 | 43 | 40 |
| 19 | 109 | 90 | 78 | 70 | 64 | 60 | 53 | 48 | 44 | 41 |
| **20** | 111 | 92 | 80 | 72 | 66 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 |
| 21 | 114 | 94 | 82 | 74 | 68 | 63 | 56 | 50 | 46 | 43 |
| 22 | 117 | 97 | 84 | 76 | 69 | 64 | 57 | 51 | 47 | 44 |
| 23 | 119 | 99 | 86 | 78 | 70 | 66 | 58 | 53 | 48 | 45 |
| 24 | 122 | 101 | 88 | 79 | 72 | 67 | 59 | 54 | 49 | 46 |
| **25** | 125 | 103 | 90 | 81 | 74 | 69 | 60 | 55 | 50 | 47 |
| 26 | 127 | 105 | 91 | 82 | 75 | 70 | 62 | 56 | 51 | 45 |
| 27 | 129 | 107 | 93 | 84 | 77 | 71 | 63 | 57 | 52 | 49 |
| 28 | 132 | 109 | 95 | 85 | 78 | 73 | 64 | 58 | 53 | 50 |
| 29 | 134 | 111 | 97 | 87 | 80 | 74 | 65 | 59 | 54 | 51 |
| **30** | 136 | 113 | 99 | 88 | 81 | 75 | 66 | 60 | 55 | 52 |
| 32 | 130 | 116 | 100 | 90 | 82 | 76 | 67 | 62 | 57 | 53 |
| 34 | 145 | 119 | 104 | 94 | 86 | 79 | 69 | 64 | 59 | 55 |
| 36 | 149 | 122 | 107 | 96 | 87 | 82 | 71 | 65 | 61 | 57 |
| 38 | 151 | 125 | 110 | 97 | 90 | 83 | 74 | 66 | 62 | 58 |
| **40** | 156 | 130 | 113 | 101 | 92 | 86 | 75 | 69 | 64 | 59 |
| 45 | 167 | 137 | 119 | 107 | 97 | 91 | 80 | 73 | 68 | 63 |
| 50 | 174 | 145 | 125 | 113 | 104 | 96 | 84 | 76 | 70 | 67 |
| 55 | 184 | 151 | 132 | 119 | 107 | 101 | 88 | 80 | 75 | 70 |
| 60 | 193 | 158 | 137 | 121 | 113 | 106 | 94 | 84 | 78 | 73 |

## Tableau des épaisseurs pratiques à donner aux chaudières cylindriques en tôle.

| DIAMÈTRES des chaudières. | NUMÉROS DES TIMBRES INDIQUANT LA PRESSION ABSOLUE EN ATMOSPHÈRE (ORDONN. DE 1843), OU PRESSION EFFECTIVE EN KILOGR. MARQUÉE SUR LES TIMBRES (DÉC. DE 1865). | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 atmos. ou 1 k. 033 | 3 atmos. ou 2 k. 066 | 4 atmos. ou 3 k. 099 | 5 atmos. ou 4 k. 132 | 6 atmos. ou 5 k. 165 | 7 atmos. ou 6. k. 198 | 8 atmos. ou 7 k. 231 |
| mètres. | millim. | millim. | millim. | millim. | millim. | millim. | millim. |
| **0,50** | 3,90 | 4,80 | 5.70 | 6,60 | 7.50 | 8,40 | 9,30 |
| 0,55 | 3,99 | 4,98 | 5.97 | 6,96 | 7,95 | 8,94 | 9,93 |
| 0.60 | 4,08 | 5,16 | 6,24 | 7,32 | 8,40 | 9.48 | 10,56 |
| 0.65 | 4,17 | 5,34 | 6,51 | 7,68 | 8,85 | 10,02 | 11,19 |
| 0,70 | 4,26 | 5,52 | 6,78 | 8,04 | 9,30 | 10,56 | 11,82 |
| **0,75** | 4.35 | 5,70 | 7,05 | 8,40 | 9,75 | 11,10 | 12,45 |
| 0,80 | 4.44 | 5,88 | 7,32 | 8.76 | 10,20 | 11,64 | 13,08 |
| 0,85 | 4,53 | 6,06 | 7.59 | 9.12 | 10,65 | 12.18 | 13,71 |
| 0,90 | 4,62 | 6,24 | 7,86 | 9,48 | 11,10 | 12,72 | 14,34 |
| 0,95 | 4,71 | 6,42 | 8,13 | 9,84 | 11,55 | 13,26 | 14,97 |
| **1,00** | 4,80 | 6,60 | 8,40 | 10,20 | 12,00 | 13,80 | 15,60 |

## Tableau des épaisseurs pratiques à donner aux têtes de bouilleurs et de chaudières en tôle.

| NOMBRE de chevaux. | LONGUEUR de la chaudière. | LONGUEUR de chacun des deux bouilleurs. | DIAMÈTRE de la chaudière. | DIAMÈTRE des bouilleurs. | ÉPAISSEUR de la tête de la chaudière. | ÉPAISSEUR de la tête des bouilleurs. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mètres. | mètres. | mètres. | mètres. | millim. | millim. |
| **2** | 1,65 | 1,75 | 0,65 | 0,28 | 8 | 8 |
| 4 | 2,10 | 2.20 | 0.70 | 0,30 | 8 | 8 |
| 6 | 2.45 | 2,60 | 0,75 | 0,35 | 9 | 10 |
| 8 | 2,80 | 2,95 | 0,80 | 0,35 | 10 | 10 |
| **10** | 3,25 | 3,40 | 0,80 | 0,35 | 10 | 10 |
| 15 | 5,00 | 5,15 | 0,80 | 0,44 | 10 | 10 |
| 20 | 6,80 | 7,00 | 0,85 | 0.50 | 10 | 10 |
| 25 | 8,50 | 8,65 | 0,85 | 0,50 | 10 | 10 |
| 30 | 9,20 | 9,50 | 1,00 | 0,60 | 10,5 | 10 |
| **40** | 10,00 | 10,38 | 1,10 | 0,60 | 11 | 10 |

## Noms en français et en anglais des principales parties d'une machine à vapeur.

| EN FRANÇAIS. | EN ANGLAIS. |
|---|---|
| DIAMÈTRES. | DIAMETER OF |
| Du cylindre. | Cylinder. |
| De la tige du piston. | Piston rod. |
| De la pompe à air. | Air-pump. |
| De la tige de la pompe à air. | Air-pump rod. |
| Du robinet d'injection. | Injection-cock. |
| De la pompe à eau chaude. | Hot-water pump. |
| Du tuyau d'alimentation. | Feed pipe. |
| Du tuyau à vapeur. | Steam-pipe. |
| Du tuyau de décharge de l'eau de condensation. | Waste water-pipe. |
| De l'axe principal du balancier. | Beam gudgeon. |
| Des axes extrêmes du balancier. | Pins in beam ends. |
| Des tourillons sur le balancier des bielles de la pompe à air. | Air-pump pins' in beam. |
| Du bouton de la manivelle. | Crank-pin. |
| De l'arbre moteur. | Main shaft. |
| Des roues à aubes. | Paddle wheels. |
| Des tourillons de l'arbre de commande des tiroirs. | Weigh-shaft bearing. |
| LONGUEUR DE LA COURSE. | STROKE OF. |
| Du piston du cylindre. | Piston. |
| Du piston de la pompe à air. | Air-pump bucket. |
| Du piston plongeur de la pompe alimentaire. | Feed pump plunger. |
| TRAVERSE DE LA TIGE DU CYLINDRE. | CYLINDER CROSS HEAD. |
| Hauteur de la douille d'assemblage. | Depth of boss. |
| Diamètre — — | Diameter of boss. |
| Largeur au milieu de la traverse. | Breadth of middle. |
| Épaisseur de la traverse. | Thickness. |
| TRAVERSE DE LA TIGE DE LA POMPE A AIR. | AIR PUMP CROSS HEAD. |
| Hauteur de la douille d'assemblage. | Depth of boss. |
| Diamètre — — | Diameter of boss. |
| Largeur au milieu de la traverse. | Breadth of middle. |
| Épaisseur de la traverse. | Thickness. |
| COLONNES DE SUPPORT. | COLUMNS. |
| Diamètre en haut. | Diameter at top. |
| Diamètre en bas. | Diameter at bottom. |
| DISTANCE DE CENTRE A CENTRE. | CENTRE TO CENTRE OF. |
| Des bielles latérales de la pompe à air. | Air pump, side-rods transversly. |
| Des balanciers (du même cylindre). | Beams — — |
| Des deux flasques du châssis. | Frames. — — |
| Des cylindres des deux machines. | Engines. |
| LUMIÈRES A VAPEUR. | STEAM PORT. |
| Largeur. | Breadth. |
| Hauteur. | Height. |
| SOUPAPE A CLAPET. | FORS VALVE PASSAGE. |
| Hauteur. | Depth. |
| Largeur. | Length. |
| BALANCIER. | BEAM. |
| Largeur au milieu. | Breadth at middle. |
| Largeur aux extrémités. | Breadth at ends. |
| Épaisseur. | Thickness. |

**Correspondance des mesures anglaises et françaises des pressions.**

| PRESSION. | | PRESSION. | | PRESSION | | PRESSION. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| En livres anglaises par pouce carré (square inch). | En atmosphères. | En kilogrammes sur un centimètre carré. | En centimètres de mercure. | En livres anglaises par pouce carré (square inch). | En atmosphères. | En kilogrammes sur un centimètre carré. | En centimètres de mercure. |
| | | k | | | | k | |
| 0 | 0, 000 | 0, 00000 | 0, 00 | **25** | 1, 703 | 1, 75990 | 129, 50 |
| 0 | 0, 000 | 0, 00000 | 0, 00 | 25, 5 | 1, 738 | 1, 79510 | 132, 09 |
| **1** | 0, 068 | 0, 07040 | 5, 18 | 26 | 1, 772 | 1, 83030 | 134, 68 |
| 1, 5 | 0, 102 | 0, 10559 | 7, 77 | 26, 5 | 1, 806 | 1, 86550 | 137, 27 |
| 2 | 0, 136 | 0, 14079 | 10, 36 | 27 | 1, 840 | 1, 90070 | 139, 86 |
| 2, 5 | 0, 170 | 0, 17599 | 12, 95 | 27, 5 | 1, 874 | 1, 93590 | 142, 45 |
| 3 | 0, 204 | 0, 21119 | 15, 54 | 28 | 1, 908 | 1, 97109 | 145, 04 |
| 3, 5 | 0, 238 | 0, 24639 | 18, 13 | 28, 5 | 1, 942 | 2, 00629 | 147, 63 |
| 4 | 0, 272 | 0, 28158 | 20, 72 | 29 | 1, 976 | 2, 04149 | 150, 22 |
| 4, 5 | 0, 306 | 0, 31678 | 23, 31 | 29, 5 | 2, 010 | 2, 07669 | 152, 81 |
| **5** | 0, 340 | 0, 35198 | 25, 90 | **30** | 2, 044 | 2, 11189 | 155, 40 |
| 5, 5 | 0, 375 | 0, 38718 | 28, 49 | 30, 5 | 2, 078 | 2, 14708 | 157, 99 |
| 6 | 0, 409 | 0, 42238 | 31, 08 | 31 | 2, 113 | 2, 18228 | 160, 58 |
| 6, 5 | 0, 443 | 0, 45758 | 33, 67 | 31, 5 | 2, 147 | 2, 21748 | 163, 17 |
| 7 | 0, 477 | 0, 49277 | 36, 26 | 32 | 2, 181 | 2, 25268 | 165, 76 |
| 7, 5 | 0, 511 | 0, 52797 | 38, 85 | 32, 5 | 2, 215 | 2, 28788 | 168, 35 |
| 8 | 0, 545 | 0, 56317 | 41, 44 | 33 | 2, 249 | 2, 32307 | 170, 94 |
| 8, 5 | 0, 579 | 0, 59837 | 44, 03 | 33, 5 | 2, 283 | 2, 35827 | 173, 53 |
| 9 | 0, 613 | 0, 63357 | 46, 62 | 34 | 2, 317 | 2, 39347 | 176, 12 |
| 9, 5 | 0, 647 | 0, 66876 | 49, 21 | 34 5 | 2, 351 | 2, 42867 | 178, 71 |
| **10** | 0, 681 | 0, 70396 | 51, 80 | **35** | 2, 385 | 2, 46387 | 181, 30 |
| 10, 5 | 0, 715 | 0, 73916 | 54, 39 | 35, 5 | 2, 419 | 2, 49906 | 183, 89 |
| 11 | 0, 749 | 0, 77436 | 56, 98 | 36 | 2, 453 | 2, 53426 | 186, 48 |
| 11, 5 | 0, 783 | 0, 80956 | 59, 57 | 36, 5 | 2, 487 | 2, 56946 | 189, 07 |
| 12 | 8, 818 | 0, 84475 | 62, 16 | 37 | 2, 522 | 2, 60466 | 191, 66 |
| 12, 5 | 0, 851 | 0, 87995 | 64, 75 | 37, 5 | 2, 556 | 2, 63986 | 194, 25 |
| 13 | 0, 886 | 0, 91515 | 67, 34 | 38 | 2, 590 | 2, 67506 | 196, 84 |
| 13, 5 | 0, 920 | 0, 95035 | 69, 93 | 38, 5 | 2, 624 | 2, 71025 | 199, 43 |
| 14 | 0, 954 | 0, 98555 | 72, 52 | 39 | 2, 658 | 2, 74545 | 202, 02 |
| 14, 5 | 0, 988 | 1, 02074 | 75, 11 | 39, 5 | 2, 692 | 2, 78065 | 204, 61 |
| **15** | 1, 022 | 1, 05594 | 77, 70 | **40** | 2, 726 | 2, 81585 | 200, 581 |
| 15, 5 | 1, 056 | 1, 09114 | 80, 29 | 40, 5 | 2, 760 | 2, 85105 | 203, 088 |
| 16 | 1, 090 | 1, 12634 | 82, 88 | 41 | 2, 794 | 2, 88624 | 205, 595 |
| 16, 5 | 1, 124 | 1, 16154 | 85, 47 | 41, 5 | 2, 828 | 2, 92144 | 208, 102 |
| 17 | 1, 158 | 1, 19674 | 88, 06 | 42 | 2, 862 | 2, 95664 | 210, 610 |
| 17, 5 | 1, 192 | 1, 23193 | 90, 65 | 42, 5 | 2, 896 | 2, 99184 | 213, 117 |
| 18 | 1, 226 | 1, 26713 | 93, 24 | 43 | 2, 931 | 3, 02704 | 215, 624 |
| 18, 5 | 1, 260 | 1, 30233 | 95, 83 | 43, 5 | 2, 965 | 3, 06223 | 218, 131 |
| 19 | 1, 295 | 1, 33753 | 98, 42 | 44 | 2, 999 | 3, 09743 | 220, 639 |
| 19, 5 | 1, 329 | 1, 37273 | 101, 01 | 44, 5 | 3, 033 | 3, 13263 | 223, 146 |
| **20** | 1, 363 | 1, 40792 | 103, 60 | **45** | 3, 067 | 3, 16783 | 225, 653 |
| 20, 5 | 1, 397 | 1, 44312 | 106, 19 | 45, 5 | 3, 101 | 3, 20303 | 228, 161 |
| 21 | 1, 431 | 1, 47832 | 108, 78 | 46 | 3, 135 | 3, 23822 | 230, 668 |
| 21, 5 | 1, 465 | 1, 51352 | 111, 37 | 46, 5 | 3, 169 | 2, 27342 | 233, 175 |
| 22 | 1, 499 | 1, 54872 | 113, 96 | 47 | 3, 203 | 3, 30862 | 235, 682 |
| 22, 5 | 1, 533 | 1, 58391 | 116, 55 | 47, 5 | 3, 237 | 3, 34382 | 238, 189 |
| 23 | 1, 567 | 1, 61911 | 119, 14 | 48 | 3, 271 | 3, 37902 | 240, 697 |
| 23, 5 | 1, 601 | 1, 65431 | 121, 73 | 48, 5 | 3, 305 | 3, 41422 | 243, 204 |
| 24 | 1, 636 | 1, 68951 | 124, 32 | 49 | 3, 339 | 3, 44941 | 245, 711 |
| 24, 5 | 1, 669 | 1, 72471 | 126, 91 | 49, 5 | 3, 374 | 3, 48461 | 248, 219 |
| | | | | **50** | 3, 408 | 3, 51981 | 250, 726 |

**Suite du tableau précédent pour des pressions plus élevées.**

| PRESSION. | | PRESSION. | | PRESSION. | | PRESSION. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EN livres anglaises par pouce carré. | EN kilogrammes sur un centimètre carré. | EN livres anglaises par pouce carré. | EN kilogrammes sur un centimètre carré. | EN livres anglaises par pouce carré. | EN kilogrammes sur un centimètre carré. | EN livres anglaises par pouce carré. | EN kilogrammes sur un centimètre carré. |
| **51** | 3, 58 | **64** | 4, 50 | **77** | 5, 41 | **89** | 6, 25 |
| 52 | 3, 65 | 65 | 4, 57 | 78 | 5, 48 | 90 | 6, 33 |
| 53 | 3, 72 | 66 | 4, 64 | 79 | 5, 55 | 91 | 6, 40 |
| 54 | 3, 80 | 67 | 4, 71 | 80 | 5, 62 | 92 | 6, 47 |
| 55 | 3, 87 | 68 | 4, 78 | 81 | 5, 69 | 93 | 6, 54 |
| **56** | 3, 94 | **69** | 4, 85 | **82** | 5, 76 | **94** | 6, 61 |
| 57 | 4, 00 | 70 | 4, 92 | 83 | 5, 83 | 95 | 6, 68 |
| 58 | 4, 08 | 71 | 4, 99 | 84 | 5, 90 | 96 | 6, 75 |
| 59 | 4, 15 | 72 | 5, 06 | 85 | 5, 97 | 97 | 6, 82 |
| 60 | 4, 22 | 73 | 5, 13 | 86 | 6, 04 | 98 | 6, 89 |
| **61** | 4, 29 | **74** | 5, 20 | **87** | 6, 11 | **99** | 6, 96 |
| 62 | 4, 36 | 75 | 5, 27 | 88 | 6, 18 | 100 | 7, 03 |
| 63 | 4, 43 | 76 | 5, 34 | | | | |

## LOCOMOTIVES.

Rapports existant entre les différentes parties d'une locomotive, d'après les mesures indiquées pour dix-huit de ces machines, dans l'ouvrage de MM. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau, par le professeur REDTENBACHER (*Die Gesetze Lokomotivbaues*, MANNHEIM, 1855. *Extrait traduit par* C.-L. MUNTZ).

Soient :

*d*, le diamètre d'un des cylindres à vapeur d'une locomotive;
O, la section de ce cylindre;
**F**, la surface de chauffe;
δ, le diamètre d'un tuyau de la chaudière.

### 1° *L'appareil à vapeur.*

Longueur de la grille. . . . . 0,114 $\sqrt{F}$.
Largeur de la grille. . . . . 0,114 $\sqrt{F}$.
Surface de la grille. . . . . 0,013 F.
Hauteur au-dessus de la grille, de la rangée inférieure des tuyaux . . . . . 0,080 $\sqrt{F}$.

| | | |
|---|---|---|
| Diamètre intérieur des tuyaux de la chaudière | minimum | 0,037 mètres. |
| | maximum | 0,045 — |
| Nombre des tuyaux | | $0,0033 \frac{F}{\delta^2}$. |
| Longueur des tuyaux | | $87\,\delta$ |
| Épaisseur du métal d'un tuyau | | 0,002 mètres. |
| Surface de chauffe de tous les tuyaux réunis | | 0,92 F. |
| Somme de la section de tous les tuyaux | | 0,00269 F. |
| Surface de chauffe de la boîte à feu | | 0,08 F. |
| Surface totale de chauffe de la chaudière | | F |
| Distance entre le fond de la boîte à feu et le fond de l'enveloppe | | 0,08 mètres. |
| Distance entre les côtés de la boîte à feu et les côtés de l'enveloppe | | 0,08 — |
| Distance entre les entretoises qui réunissent les parois de la boîte à feu aux parois de l'enveloppe | | 0,12 — |
| Diamètre de ces entretoises | | 0,02 — |
| Diamètre intérieur de la chaudière, ordinairement cylindrique | | $3,424 \sqrt{F}$. |
| Longueur de la chaudière | | $84\,\delta$ |
| Épaisseur de la tôle formant les parois de la chaudière | | $0,0013 \sqrt{F}$. |
| Épaisseur de la tôle formant l'enveloppe extérieure de la boîte à feu | | $0,0014 \sqrt{F}$. |
| Épaisseur du dôme de la boîte à feu, de cuivre | | $0,0014 \sqrt{F}$. |
| Épaisseur des parois latérales et du fond de la boîte à feu, de cuivre | | $0,0014 \sqrt{F}$. |
| Épaisseur des tuyaux à l'endroit de la boîte à feu | | $0,0024 \sqrt{F}$. |
| Section de l'ouverture d'une soupape de sûreté | | 0,0001 F. |

### 2° *Les pompes alimentaires.*

| | |
|---|---|
| Diamètre du piston d'une pompe | $0,2128 \sqrt{F}$. |
| Course du piston | 0,32 mètres. |
| Diamètre de l'ouverture d'une soupape | $0,0058 \sqrt{F}$. |
| Diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement | $0,0058 \sqrt{F}$. |

### 3° *L'admission de la vapeur et le régulateur.*

| | |
|---|---|
| Section maxima de l'ouverture du régulateur | 0,00015 F. |
| Diamètre intérieur des tuyaux d'admission de la vapeur | $0,016 \sqrt{F}$. |
| Section de ce tuyau | 0,0002 F. |
| Section des tuyaux par lesquels la vapeur va au réservoir | 0,0001 F. |

### 4° *Le tuyau d'échappement.*

| | | |
|---|---|---|
| Section du tuyau d'échappement | | 0,0002 F. |
| Section de l'embouchure du tuyau d'échappement | minimum | 0,00017 F. |
| | maximum | 0,000273 F. |

### 5° *Le mécanisme ou la timonerie des Allemands.*

| | | |
|---|---|---|
| Angle d'avance | | 30 degrés. |
| Avance linéaire des tiroirs | | 0,013 *d*. |
| Couverture intérieure des tiroirs | | 0,012 *d*. |
| Couverture extérieure des tiroirs | | 0,055 *d*. |
| Diamètre de l'excentrique des tiroirs | | 0,15 *d*. |
| Ouverture d'admission. | Rapport de la longueur à la hauteur | 0,91 |
| | Section | 0,000432 F = 0,71 O. |
| Ouverture de l'échappement. | Rapport de la largeur à la hauteur | 3,65 |
| | Section | 0,000237 F = 0,14 O. |
| Tiroirs. | Longueur | 0,03 $\sqrt{F}$ = 0,68 *d*. |
| | Largeur | 0,04 $\sqrt{F}$ = 0,82 *d*. |
| | Surface | 0,0072 F = 0,50 O. |

### 6° *Les cylindres et la transmission.*

| | |
|---|---|
| Section d'un cylindre dans les locomotives à deux cylindres | 0,00126 F. |
| Diamètre d'un cylindre à vapeur. . . . . $d =$ | 0,0416 $\sqrt{F}$. |
| Longueur de la course | 1,57 *d*. |
| Longueur de la bielle de transmission | 3,84 *d*. |

# DIMENSIONS PRINCIPALES DES VOIES EN FRANCE

---

*Écartement des rails* : Entre les bords intérieurs des rails $1^m,44$ à $1^m,45$.

*Entre-voie :* Entre les bords extérieurs des rails, 2 mètres.

*Largeur des accotements*, c'est-à-dire des parties comprises de chaque côté, entre le bord extérieur du rail et l'arête supérieure du ballast, 1 mètre au moins.

*Largeur de la banquette* ménagée au pied de chaque talus du ballast, $0^m,50$.

*Fossés ordinaires des tranchées* : Largeur en haut, $0^m,60$; largeur au fond, $0^m,20$; profondeur, $0^m,90$.

*Passages inférieurs :* Ouvertures, route nationale, 8 mètres; route départementale, 7 mètres; chemin de grande communication, 5 mètres; chemin vicinal, 4 mètres.

Hauteur sous-clef, 5 mètres; sous-poutres, $4^m,30$.

Largeur entre les parapets, deux voies, 8 mètres; une voie, $4^m,50$.

*Passages supérieurs :* Largeur entre les parapets, route nationale, 8 mètres; route départementale, 7 mètres; chemin de grande communication, 5 mètres; chemin vicinal, 4 mètres.

Distance verticale au-dessus du bord des rails extérieurs, $4^m,80$.

Ouverture, deux voies, 8 mètres; une voie, $4^m,50$.

*Viaducs :* Largeur, deux voies, 8 mètres; une voie, $4^m,50$; hauteur des parapets, $0^m,80$.

*Tunnels* : Largeur entre les piédroits ou parapets, 8 mètres; hauteur au-dessus du rail : sous-clef de voûte, 6 mètres; distance verticale entre l'intrados et le dessus des rails extérieurs, $4^m,80$.

## Travail de la vapeur à divers degrés de détente

(En supposant que la détente se fasse suivant la loi de Mariotte).

| RAPPORT des VOLUMES | POINT de la course totale du piston auquel la détente commence. | TRAVAIL dû à la détente seule, le travail à pleine vapeur étant 1. | TRAVAIL total, le travail à pleine vapeur étant 1. | RAPPORT du travail total avec la détente au travail total sans détente pendant la course complète. |
|---|---|---|---|---|
| **100,000** | 0,01 | 4,6052 | 5,6052 | 0,056 |
| 50,000 | 0,02 | 3,9120 | 4,9120 | 0,098 |
| 33,333 | 0,03 | 3,5065 | 4,5066 | 0,135 |
| 25,000 | 0,04 | 3,2189 | 4,2189 | 0,179 |
| 20,000 | 0,05 | 2,9958 | 3,9958 | 0,200 |
| 16,666 | 0,06 | 2,8134 | 2,8134 | 0,229 |
| 14,285 | 0,07 | 2,6703 | 2,6703 | 0,257 |
| 12,500 | 0,08 | 2,5257 | 3,5257 | 0,282 |
| 11,111 | 0,09 | 2,4080 | 3,4080 | 0,307 |
| 10,000 | 0,10 | 2,3026 | 3,3026 | 0,330 |
| **9,090** | 0,11 | 2,2073 | 3,2073 | 0,353 |
| 8,333 | 0,12 | 2,1203 | 3,1203 | 0,374 |
| 7,692 | 0,13 | 2,0400 | 3,0400 | 0,389 |
| 7,143 | 0,14 | 1,9661 | 2,9661 | 0,415 |
| 6,666 | 0,15 | 1,8971 | 2,8971 | 0,435 |
| 6,250 | 0,16 | 1,8326 | 2,8326 | 0,453 |
| 5,882 | 0,17 | 1,7720 | 2,7720 | 0,471 |
| 5,555 | 0,18 | 1,7148 | 2,7148 | 0,489 |
| 5,263 | 0,19 | 1,6607 | 2,6607 | 0,506 |
| 5,000 | 0,20 | 1,6094 | 2,6094 | 0,522 |
| **4,762** | 0,21 | 1,5607 | 2,5607 | 0,538 |
| 4,545 | 0,22 | 1,5207 | 2,5207 | 0,555 |
| 4,347 | 0,23 | 1,4697 | 2,4697 | 0,569 |
| 4,166 | 0,24 | 1,4271 | 2,4271 | 0,583 |
| 4,000 | 0,25 | 1,3863 | 2,3863 | 0,597 |
| 3,846 | 0,26 | 1,3471 | 2,3471 | 0,610 |
| 3,703 | 0,27 | 1,3093 | 2,3093 | 0,624 |
| 3,571 | 0,28 | 1,2730 | 2,2730 | 0,636 |
| 3,448 | 0,29 | 1,2378 | 2,2378 | 0,649 |
| 3,333 | 0,30 | 1,2040 | 2,2042 | 0,661 |
| **3,225** | 0,31 | 1,1712 | 2,1712 | 0,673 |
| 3,125 | 0,32 | 1,1394 | 2,1394 | 0,685 |
| 3,0303 | 0,33 | 1,1087 | 2,1087 | 0,696 |
| 2,941 | 0,34 | 1,0788 | 2,0788 | 0,707 |
| 2,857 | 0,35 | 1,0498 | 2,0498 | 0,717 |
| 2,777 | 0,36 | 1,0217 | 2,0217 | 0,729 |
| 2,702 | 0,37 | 0,9943 | 1,9943 | 0,738 |
| 2,631 | 0,38 | 0,9676 | 1,9676 | 0,748 |
| 2,564 | 0,39 | 0,9416 | 1,9416 | 0,757 |
| 2,500 | 0,40 | 0,9163 | 1,9163 | 0,767 |
| **2,439** | 0,41 | 0,8917 | 1,8917 | 0,776 |
| 2,3809 | 0,42 | 0,8674 | 1,8674 | 0,784 |
| 2,325 | 0,43 | 0,8440 | 1,8440 | 0,793 |
| 2,272 | 0,44 | 0,8209 | 1,8209 | 0,801 |
| 2,222 | 0,45 | 0,7985 | 1,7985 | 0,810 |
| 2,173 | 0,46 | 0,7765 | 1,7765 | 0,817 |
| 2,127 | 0,47 | 0,7550 | 1,7550 | 0,825 |
| 2,083 | 0,48 | 0,7340 | 1,7340 | 0,832 |
| 2,040 | 0,49 | 0,7133 | 0,7133 | 0,840 |

| RAPPORT des VOLUMES. | POINT de la course totale du piston auquel la détente commence. | TRAVAIL dû à la détente seule, le travail à pleine vapeur étant 1. | TRAVAIL total, le travail à pleine vapeur étant 1. | RAPPORT du travail total avec la détente au travail total sans détente pendant la course complète. |
|---|---|---|---|---|
| **2,000** | 0, 50 | 0, 6932 | 1, 6932 | 0, 846 |
| 1, 9607 | 0, 51 | 0, 6733 | 1, 6733 | 0, 854 |
| 1, 923 | 0, 52 | 0, 6539 | 1, 6539 | 0, 860 |
| 1, 8867 | 0, 53 | 0, 6348 | 1, 6348 | 0, 866 |
| 1, 8518 | 0, 54 | 0, 6162 | 1, 6162 | 0, 873 |
| 1, 818 | 0, 55 | 0, 5978 | 1, 5978 | 0, 879 |
| 1, 7857 | 0, 56 | 0, 5798 | 1, 5798 | 0, 885 |
| 1, 754 | 0, 57 | 0, 5621 | 1, 5621 | 0, 890 |
| 1, 724 | 0, 58 | 0, 5447 | 1, 5447 | 0, 896 |
| 1, 695 | 0, 59 | 0, 5276 | 1, 5276 | 0, 901 |
| **1,666** | 0, 60 | 0, 5108 | 1, 5108 | 0, 906 |
| 1, 639 | 0, 61 | 0, 4943 | 1, 4943 | 0, 012 |
| 1, 6129 | 0, 62 | 0, 4780 | 1, 4780 | 0, 916 |
| 1, 587 | 0, 63 | 0, 4620 | 1, 4620 | 0, 921 |
| 1, 564 | 0, 64 | 0, 4460 | 1, 4460 | 0, 925 |
| 1, 538 | 0, 65 | 0, 4307 | 1, 4307 | 0, 9299 |
| 1, 515 | 0, 66 | 0, 4155 | 1, 4155 | 0, 9342 |
| 1, 4925 | 0, 67 | 0, 4012 | 1, 4012 | 0, 9388 |
| 1, 4705 | 0, 68 | 0, 3853 | 1, 3853 | 0, 9420 |
| 1, 449 | 0, 69 | 0, 3718 | 1, 3718 | 0, 9465 |
| **1,285** | 0, 70 | 0, 3563 | 1, 3563 | 0, 9494 |
| 1, 4084 | 0, 71 | 0, 3424 | 1, 3424 | 0, 9531 |
| 1, 3888 | 0, 72 | 0, 3284 | 1, 3284 | 0, 9564 |
| 1, 3698 | 0, 73 | 0, 3147 | 1, 3147 | 0, 9597 |
| 1, 3513 | 0, 74 | 0, 3011 | 1, 3011 | 0, 9628 |
| 1, 333 | 0, 75 | 0, 2877 | 1, 2877 | 0, 9658 |
| 1, 3157 | 0, 76 | 0, 2723 | 1, 2723 | 0, 9669 |
| 1, 2985 | 0, 77 | 0, 2614 | 1, 2614 | 0, 9713 |
| 1, 282 | 0, 78 | 0, 2466 | 1, 2466 | 0, 9723 |
| 1, 2658 | 0, 79 | 0, 2357 | 1, 2357 | 0, 9762 |
| **1,250** | 0, 80 | 0, 2231 | 1, 2231 | 0, 9785 |
| 1, 2345 | 0, 81 | 0, 2107 | 1, 2107 | 0, 9807 |
| 1, 2195 | 0, 82 | 0, 1984 | 1, 1984 | 0, 9827 |
| 1, 2048 | 0, 83 | 0, 1863 | 1, 1863 | 0, 9846 |
| 1, 1904 | 0, 84 | 0, 1743 | 1, 1743 | 0, 9864 |
| 1, 176 | 0, 85 | 0, 1625 | 1, 1625 | 0, 9881 |
| 1, 1627 | 0, 86 | 0, 1507 | 1, 1507 | 0, 9896 |
| 1, 149 | 0, 87 | 0, 1392 | 1, 1392 | 0, 9911 |
| 1, 136 | 0, 88 | 0, 1278 | 1, 1278 | 0, 9925 |
| 1, 236 | 0, 89 | 0, 1164 | 1, 1164 | 0, 9936 |
| **1,111** | 0, 90 | 0, 1054 | 1, 1054 | 0, 9949 |
| 1, 0989 | 0, 91 | 0, 0943 | 1, 0943 | 0, 9959 |
| 1, 0869 | 0, 92 | 0, 0833 | 1, 0833 | 0, 9966 |
| 1, 075 | 0, 93 | 0, 0725 | 1, 0725 | 0, 9974 |
| 1, 0638 | 0, 94 | 0, 0618 | 1, 0618 | 0, 9981 |
| 1, 0526 | 0, 95 | 0, 0513 | 1, 0513 | 0, 9987 |
| 1, 0416 | 0, 96 | 0, 0408 | 1, 0408 | 0, 9992 |
| 1, 0309 | 0, 97 | 0, 0307 | 1, 0307 | 0, 9998 |
| 1, 020 | 0, 98 | 0, 0202 | 1, 0202 | 0, 9999 |
| 1, 010 | 0, 99 | 0, 0110 | 1, 0110 | 1, 0000 |
| 1, 00 | 1, 00 | 0, 0011 | 1, 0010 | 1, 0000 |

Voir aussi des tables calculées : *Annales du Génie civil*, septembre 1871, p. 651.

**Quantités de travail totales produites sous différentes détentes, par 1 mètre cube de vapeur d'eau prise à la tension de 1 atmosphère.**

(En supposant que la détente se fasse suivant la loi de Mariotte).

| VOLUME après la détente. | QUANTITÉ de travail correspondante. | VOLUME après la détente. | QUANTITÉ de travail correspondante. | VOLUME après la détente | QUANTITÉ de travail correspondante. |
|---|---|---|---|---|---|
| m. c. | km. | m. c. | km. | m. c. | km. |
| **1,00** | 10,333 | **1,80** | 16,407 | **4,60** | 26,103 |
| 1,01 | 10,436 | 1,85 | 16,690 | 4,70 | 26,325 |
| 1,02 | 10,538 | 1,90 | 16,966 | 4,80 | 26,542 |
| 1,03 | 10,639 | 1,95 | 17,234 | 4,90 | 26,755 |
| 1,04 | 10,739 | 2,00 | 17,496 | 5,00 | 26,964 |
| **1,05** | 10,837 | **2,05** | 17,751 | **5,10** | 27,169 |
| 1,06 | 10,935 | 2,10 | 18,000 | 5,20 | 27,369 |
| 1,07 | 11,032 | 2,15 | 18,243 | 5,30 | 27,566 |
| 1,08 | 11,129 | 2,20 | 18,481 | 5,40 | 27,759 |
| 1,09 | 11,224 | 2,25 | 18,713 | 5,50 | 27,949 |
| **1,10** | 11,318 | **2,30** | 18,940 | **5,60** | 28,135 |
| 1,11 | 11,412 | 2,35 | 19,162 | 5,70 | 28,318 |
| 1,12 | 11,504 | 2,40 | 19,380 | 5,80 | 28,498 |
| 1,13 | 11,596 | 2,45 | 19,593 | 5,90 | 28,674 |
| 1,14 | 11,687 | 2,50 | 19,802 | 6,00 | 28,848 |
| **1,15** | 11,778 | **2,55** | 20,006 | **6,25** | 29,270 |
| 1,16 | 11,867 | 2,60 | 20,207 | 6,50 | 29,675 |
| 1,17 | 11,956 | 2,70 | 20,597 | 6,75 | 30,065 |
| 1,18 | 12,044 | 2,80 | 20,973 | 7,00 | 30,441 |
| 1,19 | 12,131 | 2,90 | 21,335 | 7,25 | 30,804 |
| **1,20** | 12,217 | **3,00** | 21,686 | **7,50** | 31,154 |
| 1,21 | 12,303 | 3,10 | 22,024 | 7,75 | 31,493 |
| 1,22 | 12,388 | 3,20 | 22,353 | 8,00 | 31,820 |
| 1,23 | 12,472 | 3,30 | 22,671 | 8,25 | 32,139 |
| 1,24 | 12,556 | 3,40 | 22,979 | 8,50 | 32,447 |
| **1,25** | 12,639 | **3,50** | 23,279 | **8,75** | 33,747 |
| 1,30 | 13,044 | 3,60 | 23,570 | 9,00 | 33,038 |
| 1,35 | 13,434 | 3,70 | 23,853 | 9,25 | 33,321 |
| 1,40 | 13,810 | 3,80 | 24,128 | 9,50 | 33,597 |
| 1,45 | 14,173 | 3,90 | 24,397 | 9,75 | 33,865 |
| **1,50** | 14,523 | **4,00** | 24,658 | **10,00** | 34,127 |
| 1,55 | 14,862 | 4,10 | 24,914 | 15,00 | 38,317 |
| 1,60 | 15,190 | 4,20 | 25,163 | 20,00 | 41,289 |
| 1,65 | 15,508 | 4,30 | 25,406 | 25,00 | 43,595 |
| 1,70 | 15,816 | 4,40 | 25,643 | 50,00 | 50,758 |
| **1,75** | 16,116 | **4,50** | 25,875 | **100,00** | 57,920 |

## Tableau abrégé des résultats des expériences de M. Regnault sur la vapeur d'eau

(Voir aussi le tableau de la page 268).

| TEMPÉRATURE en degrés centigrades $t$ | PRESSION DE LA VAPEUR. En kilogrammes par centimètre carré. | PRESSION DE LA VAPEUR. En atmosphères. | NOMBRE DE CALORIES RELATIF A 1 KILOGRAMME DE VAPEUR. Chaleur totale (1). | Chaleur sensible (2). | Chaleur latente de vaporisation (3). |
|---|---|---|---|---|---|
| | k. | | cal. | cal. | |
| 0 | 0,0062 | 0,006 | 606,5 | 0,0 | 606,5 |
| 10 | 0,0125 | 0,012 | 609,5 | 10,0 | 599,5 |
| 20 | 0,0236 | 0,023 | 612,6 | 20,0 | 592,6 |
| 30 | 0,0341 | 0,042 | 615,7 | 30,0 | 585,7 |
| 40 | 0,0746 | 0,072 | 618,7 | 40,0 | 578,7 |
| 50 | 0,1251 | 0,121 | 621,7 | 50,1 | 571,6 |
| 60 | 0,2023 | 0,196 | 624,8 | 60,1 | 564,7 |
| 70 | 0,3469 | 0,337 | 627,8 | 70,2 | 557,6 |
| 80 | 0,4822 | 0,467 | 630,9 | 80,3 | 550,6 |
| 90 | 0,7144 | 0,691 | 633,9 | 90,4 | 543,5 |
| 100 | 1,0333 | 1,000 | 637,0 | 100,5 | 536,5 |
| 110 | 1,4621 | 1,415 | 640,0 | 110,6 | 529,4 |
| 120 | 2,0276 | 1,962 | 643,1 | 120,8 | 522,3 |
| 130 | 2,7604 | 2,671 | 646,1 | 131,0 | 515,1 |
| 140 | 3,6949 | 3,578 | 649,2 | 141,2 | 508,0 |
| 150 | 4,8590 | 4,712 | 652,2 | 151,5 | 500,7 |
| 160 | 6,3243 | 6,121 | 655,3 | 161,7 | 493,6 |
| 170 | 8,1055 | 7,844 | 658,3 | 172,1 | 486,2 |
| 180 | 10,2600 | 9,930 | 661,4 | 182,4 | 479,0 |
| 190 | 12,8380 | 12,425 | 664,4 | 192,8 | 471,6 |
| 200 | 15,8930 | 15,389 | 667,5 | 203,2 | 464,3 |
| 210 | 19,4760 | 18,848 | 670,5 | 213,7 | 456,8 |
| 220 | 23,6430 | 22,582 | 673,6 | 224,2 | 449,4 |
| 230 | 28,4510 | 27,535 | 676,6 | 234,7 | 441,9 |

(1) Quantité exprimée par la somme $606 + 0,305\,t$.
(2) Quantité exprimée par la somme $t + 0,00002\,t^2 + 0,0000003\,t^3$.
(3) Différence : chaleur totale moins chaleur sensible.

**Transformation de 1 kilog. d'eau en vapeur saturée de même température, d'après la théorie mécanique de la chaleur.**

| TEMPÉRATURE en degrés centigrades. $t$ | VOLUME du kilog. de vapeur en mètres cubes. | POIDS du mètre cube de vapeur en kilogrammes (1). | TRAVAIL externe en kilogrammètres pendant la vaporisation. | QUANTITÉ de chaleur équivalant à ce travail. |
|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | kil. | kgm. | cal. |
| **0** | 215,201 | 0,0046 | 13460 | 30.97 |
| 10 | 111,201 | 0,0090 | 13850 | 31,38 |
| 20 | 60,151 | 0,0166 | 14220 | 32,73 |
| 30 | 34,001 | 0,0293 | 14620 | 33,65 |
| 40 | 20,131 | 0,0497 | 15030 | 34,58 |
| **50** | 12,351 | 0,0806 | 15440 | 35,53 |
| 60 | 7,842 | 0,1275 | 15860 | 36,50 |
| 70 | 5,138 | 0,1945 | 16280 | 37,47 |
| 80 | 3,462 | 0,2890 | 16690 | 38,42 |
| 90 | 2,392 | 0,4184 | 17080 | 39,32 |
| **100** | 1,697 | 0,5900 | 17499 | 40,27 |
| 110 | 1,224 | 0,8195 | 17830 | 41,04 |
| 120 | 0,898 | 1.1136 | 18190 | 41,86 |
| 130 | 0.672 | 1,4859 | 18520 | 42.61 |
| 140 | 0,511 | 1,9570 | 18840 | 43,38 |
| **150** | 0,394 | 2,5381 | 19150 | 44,08 |
| 160 | 0,308 | 3,2467 | 19450 | 44,76 |
| 170 | 0,244 | 4,098 | 19720 | 45.39 |
| 180 | 0,196 | 5,1020 | 19980 | 46,01 |
| 190 | 0,159 | 6,2893 | 20240 | 46,58 |
| **200** | 0,130 | 7,6923 | 20480 | 47.13 |
| 210 | 0,107 | 9,3458 | 20700 | 47,64 |
| 220 | 0,089 | 11,2359 | 20910 | 48,12 |
| 230 | 0,075 | 13,3333 | 21110 | 48,58 |

(1) Le mètre cube d'air à 0, pression de 0 met. 76, pèse 1 kil. 293.

**Table pour le tracé de la courbe de détente de 1 kilog. de vapeur initialement saturée.**

*N. B.* — L'enveloppe est supposée imperméable à la chaleur.

| TEMPÉRATURE en degrés centigrades (1). | TEMPÉRATURE DE LA VAPEUR INITIALEMENT SATURÉE. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200° | 180° | 160° | 140° | 120° | 100° |
| | VOLUME EN MÈTRES CUBES DU KILOG. DE FLUIDE. | | | | | |
| **200** | 0,130 | » | » | » | » | » |
| 190 | 0,156 | » | » | » | » | » |
| 180 | 0,190 | 0,196 | » | » | » | » |
| 170 | 0,234 | 0,241 | » | » | » | » |
| 160 | 0,291 | 0,299 | 0,308 | » | » | » |
| **150** | 0,366 | 0,376 | 0,388 | » | » | » |
| 140 | 0,466 | 0,479 | 0,494 | 0,511 | » | » |
| 130 | 0,603 | 0,619 | 0,638 | 0,660 | » | » |
| 120 | 0,792 | 0,813 | 0,837 | 0,865 | 0,898 | » |
| 110 | 1,059 | 1,086 | 1,117 | 1,154 | 1,197 | » |
| **100** | 1,444 | 1,480 | 1,522 | 1,571 | 1,628 | 1,697 |
| 90 | 2,002 | 2,051 | 2,109 | 2,175 | 2,252 | 2,342 |
| 80 | 2,844 | 2,913 | 2,992 | 3,084 | 3,192 | 3,316 |
| 70 | 4,141 | 4,239 | 4,351 | 4,483 | 4,635 | 4,813 |
| 60 | 6,196 | 6,339 | 6,505 | 6,695 | 6,921 | 7,182 |
| **50** | 9,563 | 9,776 | 10,031 | 10,321 | 10,660 | 11,051 |
| 40 | 15,270 | 15,600 | 15,990 | 16,450 | 16,970 | 17,580 |
| 30 | 25,300 | 25,840 | 26,470 | 27,210 | 28,030 | 29,050 |
| 20 | 43,670 | 44,580 | 45,650 | 46,890 | 48,330 | 50,000 |
| 10 | 78,860 | 80,490 | 82,370 | 84,550 | 87,090 | 90,060 |
| **0** | 149,100 | 152,000 | 155,500 | 159,500 | 164,200 | 169,700 |

(1) Les pressions sont celles qui correspondent à ces températures dans le tableau p. 298.

### MACHINE A AIR.

Pour fixer les idées par un mode de fonctionnement simple, nous supposerons que de l'air atmosphérique soit pris à O, refoulé dans une chaudière où il arrive à une température 0 et soit ensuite échauffé à une température $t_1$; puis admis dans un cylindre où il se détend jusqu'à ce que sa température tombe à $t_0$; ensuite évacué.

Le tableau suivant tiré de la *théorie des machines motrices* de MM. Reech et E. Leclert rend compte des faits les plus intéressants. On y suppose que les courbes de refoulement et de détente sont celles de l'air dans une enveloppe imperméable à la chaleur.

Le diagramme est maximum lorsque $t_0 = \Theta$.

La valeur de l'utilisation $u$ peut se mettre sous la forme de :

$$u = E\left[1 - \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{a-b}{a}}\right]$$

$v_1$ désignant la pression élevée et $p_0 = 1{,}033^k$ la pression basse. Il est à remarquer que $u$ ne dépend que du rapport des pressions.

| DÉSIGNATION des QUANTITÉS. | TEMPÉRATURE à laquelle l'air est porté. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 136° | 273° | 409° | 546° | 682° | 819° |
| Rapport de dilatation du volume d'air pris à 0 . . . . . | 1, 5 | 3 | 2, 5 | 3 | 3, 5 | 4 |
| CONDITIONS RELATIVES AU TRAVAIL THÉORIQUE MAXIMUM. | | | | | | |
| En ce cas $\theta = t_0$. . . . . | 61° | 131 | 159 | 200 | 238 | 273 |
| Pression de l'air chaud, en atmosphères. . . . . | atm. 2, 03 | 3, 36 | 4, 97 | 6, 84 | 8, 96 | 11 31 |
| Travail en kilogrammètres. — obtenu par kilogramme d'air. . . . | kgm. 1413 | 5025 | 9446 | 14990 | 21210 | 27970 |
| Travail en kilogrammètres. — par calorie fournie au kilogramme d'air dans la chaudière (*utilisation*). . | kgm. 79, 2 | 126, 4 | 158, 6 | 182, 4 | 200, 9 | 215, 8 |
| CONDITIONS RELATIVES AU MAXIMUM D'ENCOMBREMENT. | | | | | | |
| Pression de l'air chaud, en atmosphères. . . . . | atm. 2, 11 | 3, 80 | 6, 19 | 9, 64 | 13, 67 | 19, 15 |
| Travail en kilogrammètres. — obtenu par kilogramme d'air. . . . | kgm. 1408 | 4731 | 9557 | 14524 | 20438 | 26703 |
| Travail en kilogrammètres. — par calorie fournie au kilogramme d'air dans la chaudière (*utilisation*). . | kgm. 83, 6 | 136, 8 | 175, 2 | 205, 7 | 227, 3 | 245, 9 |

## ÉCOULEMENT DES FLUIDES.

*Formule générale.* — Soient $p_1$ la pression absolue à l'intérieur d'un réservoir, $p_0$ la pression absolue extérieure, $u$ la vitesse du fluide à sa sortie d'un orifice, duquel le fluide sort à l'état de veine cylindrique et de mouvement permanent. On peut écrire :

$$u^2 = 2gD.$$

En principe, la force vive D du kilogramme de fluide est le travail que développerait 1 kilog. de ce fluide si, introduit dans un cylindre où la pression est $p_1$, il s'y détendait jusqu'à ce que sa pression fût réduite à $p_0$, pour être ensuite évacué. Reste à discerner la nature de la courbe de détente qu'il convient de supposer. Le cas où, en raison de la rapidité du passage à travers l'orifice, les quantités de chaleur échangées sont négligeables, répond au cas d'une courbe de détente adiabatique. C'est dans ces hypothèses qu'ont été calculés les résultats suivants :

*Écoulement de l'air comprimé dans l'atmosphère.* — Pour les gaz parfaits :

$$D = \frac{a-b}{a} v_1 p_1 \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{a-b}{a}}\right].$$

| PRESSION dans le réservoir en atmosphères | VITESSE d'écoulement. | PRESSION dans le résorvoir en atmosphères. | VITESSE d'écoulement. |
|---|---|---|---|
| atm. | m. | atm. | m. |
| 6 | 625 | 3 | 453 |
| 5 | 584 | 2 | 356 |
| 4 | 532 | 1 | » |

Vitesse d'écoulement de l'air atmosphérique dans le vide = 740m,7.

## Table des vitesses d'écoulement de la vapeur d'eau.

| TEMPÉRATURE dans la chaudière en degrés centigrades. $t$ | PRESSION EN DEHORS DE LA CHAUDIÈRE en millimètres de mercure (1). | | | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| | 4,6 | 92,0 | 760,0 | |
| | Vitesses d'écoulement de la vapeur saturée à la température $t$, exprimée en mètres. | | | |
| | m. | m. | m. | |
| **200** | 1452,0 | 1220,0 | 967,9 | (1) Les pressions extérieures choisies sont celles de la vapeur saturée aux températures de 0°, 50°, 100°. |
| 190 | 1431,0 | 1193,0 | 929,7 | |
| 180 | 1408,0 | 1163,0 | 887,0 | |
| 170 | 1385,0 | 1131,0 | 840,1 | |
| 160 | 1360,0 | 1096,0 | 788,3 | |
| **150** | 1333,0 | 1059,0 | 792,3 | |
| 140 | 1304,0 | 1018,0 | 660,6 | |
| 130 | 1273,0 | 972,3 | 581,0 | |
| 120 | 1254,0 | 921,9 | 480,6 | |
| 110 | 1203,0 | 865,6 | 344,2 | |
| **100** | 1163,0 | 801,1 | 0 | |
| 90 | 1120,0 | 728,2 | | |
| 80 | 1072,0 | 640,3 | | |
| 70 | 1018,0 | 531,2 | | |
| 60 | 977,2 | 380,7 | | |
| **50** | 888,0 | 0 | | |
| 40 | 806,6 | | | |
| 30 | 712,2 | | | |
| 20 | 592,6 | | | |
| 10 | 427,1 | | | |
| **0** | 0 | | | |

## Vitesses d'écoulement de la vapeur d'eau saturée sèche.

| PRESSIONS intérieures en atmosphères. | PRESSIONS EXTÉRIEURES EN ATMOSPHÈRES. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| **10** | 440 | 512 | 590 | 670 | 762 | 887 |
| 9 | 387 | 468 | 552 | 639 | 741 | 870 |
| 8 | 325 | 414 | 500 | 600 | 712 | 848 |
| 7 | 740 | 346 | 450 | 560 | 675 | 817 |
| 6 | | 261 | 385 | 506 | 631 | 788 |
| **5** | | | 275 | 430 | 574 | 744 |
| 4 | | | | 330 | 519 | 690 |
| 3 | | | | | 355 | 610 |
| 2 | | | | | | 485 |

# ÉCLAIRAGE AU GAZ

*Consommation totale, publique et privée.* — Le nombre d'heures d'éclairage est environ :

pour une grande ville : de 3000 à 4000 heures ;
pour une ville moyenne : de 2000 à 3000 heures ;
pour une petite ville : de 1500 à 2000 heures.

A Paris, la consommation moyenne, par habitant, était de 115 mc. à Londres, de 200 mc. environ. Elle a même augmenté, depuis ces dernières années.

*Rendement de la houille en gaz.* — Après distillation dans les cornues à gaz, 100 kilog. de houille de bonne qualité donnent un rendement de :

29 à 30 mètres cubes de gaz ;
72 kilogrammes de coke ;
6 — d'eaux ammoniacales ;
5 — de goudrons.

Ce gaz a un pouvoir éclairant qui se rapproche beaucoup de celui du pouvoir éclairant type, qui, en France, est défini de la manière suivante : à une pression normale, c'est-à-dire 760 millimètres de mercure, et sous la pression de 2 à 3 millimètres d'eau, un bec d'Argand, du système Bengel, brûlant 105 litres de gaz à l'heure, doit avoir le même pouvoir éclairant qu'une lampe carcel brûlant, pendant le même laps de temps, 42 grammes d'huile de colza épurée.

En Angleterre, l'unité est la bougie (*candle*) de blanc de baleine ; elle doit avoir 22 millimètres de diamètre et brûler 120 grains (soit 7 gr. 78) à l'heure. Cette unité a l'inconvénient d'être très variable.

En Allemagne, l'unité est aussi la bougie (*Kerze*) ; mais, elle doit être en paraffine, avec 20 millimètres de diamètre, brûlant avec une flamme de 50 mm. de hauteur.

En 1884, Violle a défini, ainsi qu'il suit, l'unité internationale de lumière : la quantité de lumière émise normalement par 1 cq. de platine, au point de solidification.

Le tableau suivant indique les valeurs correspondantes de ces diverses unités.

| Unités | Unité internationale | Carcel | Bougie stéarique | Candle (aug.) | Kerze (allem.) |
|---|---|---|---|---|---|
| Unité internationale..... | 1. | 2.080 | 13.520 | 15.393 | 15.808 |
| Carcel.. ..... | 0.481 | 1. | 6.500 | 7.400 | 7.600 |
| Bougie stéarique (de l'Etoile).... | 0.074 | 0.154 | 1. | 1.139 | 1.169 |
| Candle (angl.)... | 0.065 | 0.135 | 0.879 | 1. | 1.027 |
| Kerze (allem.)... | 0.063 | 0.132 | 0.855 | 0.774 | 1. |

Généralement, les houilles fançaises ont un très faible rendement en gaz; voici le rendement moyen des plus connues:

| Nature des houilles employées | Production du gaz en mèt. cubes | Production totale du coke |
|---|---|---|
| Houilles d'Anzin (tout-venant)... | 23.94 | 74.40 |
| — de Mons (tout-venant).. | 24.10 | 78.60 |
| — de Mons (tout-venant).. | 21 | 74.41 |
| — de Mons gailleteuse .... | 21.3 | 74.88 |
| Autres houilles de Mons..... | 24.16 | 76.94 |
| Houilles du Grand-Horme..... | 23.15 | 75.52 |
| — du Bois-du-Luc..... | 23.32 | 88.88 |
| — du Bois-du Luc et Boghead mélangés..... | 25.70 | » |

Les houilles anglaises sont beaucoup plus riches en gaz; voici le rendement moyen des plus pauvres, des moyennes et des plus riches :

| | | |
|---|---|---|
| Newcastle Pelton | 24 mc. pour | 100 kilogrammes |
| Newcastle Cannel | 28 | — |
| Boghead Cannel | 42 | — |

De plus, le gaz ainsi obtenu a quelquefois un pouvoir égal à 3.50, en comparaison du pouvoir éclairant-type.

Comme produits secondaires, on obtient, pour 100 kil. de houille : 60 à 65 kil. de coke, 4 à 6 kil. de goudrons; 10 kil. d'eaux ammoniacales.

*Propriétés du gaz d'éclairage.* — Le gaz d'éclairage est un mélange de divers corps, dont quelques-uns peuvent être éliminés, ou remplacés par d'autres, sans inconvénients. Néanmoins, la composition moyenne d'un bon gaz de houille, répond à :

| | |
|---|---|
| Ethylène et homologues | 4.4 |
| Benzine et homologues | 1 3 |
| Protocarbure d'hydrogène (*formène* ou *méthane*) | 35.9 |
| Hydrogène | 49.1 |
| Oxyde de carbone | 6,6 |
| Acide carbonique | 1.7 |
| Azote | 1. |
| Total | 100.00 |

M. Emile Sainte-Claire-Deville a reconnu que 94 0/0 de la benzine, provenant de la distillation de la houille, restent dans le gaz ; 6 0/0 seulement sont retenus par le goudron. Le gaz de houille contient une proportion d'essences condensables à — 70°, variant de 35 à 40 gr. par mètre cube, soit 0.8 à 1,3 pour 100, en volume. Ces essences, benzine et homologues, entrent pour les deux tiers dans le pouvoir éclairant du gaz ; l'éthylène et ses homologues, ainsi que l'acétylène (gaz non condensables à — 70°) y entrent pour un tiers. La quantité de benzine est un peu plus grande dans le gaz pauvre de la fin de la distillation que dans le gaz riche du commencement.

Le poids spécifique du gaz d'éclairage est, en moyenne, de : 0.41.

L'air, mélangé au gaz, diminue son pouvoir éclairant dans de notables proportion : ainsi, par addition de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 pour cent d'air, | on diminue | ce pouvoir de | 6 pour cent. |
| 2 | — | — | 11 |
| 3 | — | — | 18 |
| 4 | — | — | 26 |
| 6 | — | — | 44 |
| 8 | — | — | 53 |
| 9 | — | — | 64 |
| 10 | — | — | 67 |
| 20 | — | — | 93 |
| 30 | — | — | 98 |
| 40 | — | — | 99 |
| 45 | — | — | 100 |

La fabrication du gaz d'éclairage, par la distillation de la houille dans les cornues, est longuement traitée dans tous les traités de chimie et dans une grande quantité d'ouvrages spéciaux.

*Eclairage public.* — Dans les rues secondaires, l'écartement des candélabres est de 65 mètres ; sur les principales artères, il est réduit de 25 à 30 mètres. Le jet lumineux est à 3 m. ou à 3 m. 60 au dessus du sol. En moyenne, il faut compter, par bec et par heure, une dépense de 140 litres, sous pression de 12 mm. de hauteur de colonne d'eau ; ces becs ont un pouvoir éclairant de 110 Carcel.

Le candélabre Lacarrière, à lanterne carrée, revient, sans son branchement, à 166 fr. environ ; ou, complètement monté, à 206 fr. De plus, la ville de Paris paie à la Cie parisienne du gaz, pour l'entretien de ces candélabres, la somme de 0 fr. 065 par jour et par appareil ; dans ce prix ne figure pas l'entretien du cuivrage.

La ville de Paris paie le mètre cube de gaz, à raison de 0 fr. 20.

*Eclairage privé.* — Pour fournir un bon éclairage, dans les conditions ordinaires, voici les diamètres moyens des tuyaux de conduite, sous la pression à peu près constante de 0.02 de pression minimum.

Branchement et tuyau intérieur jusqu'au plafond :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pour un compteur de | 3 à 10 becs | inclusivement | 0 m. 027 |
| — | 10 à 20 | — | 0 m. 034 |
| — | 20 à 30 | — | 0 m. 040 |
| — | 30 à 50 | — | 0 m. 054 |

Distribution intérieure, à partir du tuyau du plafond :

| | | |
|---|---|---|
| Tuyaux de distribution | de 1 à 2 becs | 0 m. 0135 |
| — | 2 à 5 | 0 m. 020 |
| — | 6 à 10 | 0 m. 027 |
| — | 11 à 20 | 0 m. 034 |
| — | 21 à 30 | 0 m. 040 |
| — | 31 à 50 | 0 m. 054 |

Il faut compter une consommation de 120 litres de gaz à l'heure pour chaque bec d'installation privée.

Les becs, *dits d'Argand*, cylindriques, à double courant d'air (le volume d'air nécessaire à la combustion du gaz est de 45 à 50 0/0) exigent une pression de 5 à 10 mm. ; ils sont percés de 32 à 42 trous de 0.8 mm. de diamètre placés sur un pourtour de 18 à 20 mm. de diamètre.

*Produits dérivés des goudrons.* — Dans quelques grandes localités, les compagnies qui fournissent le gaz s'occupent d'une façon toute spéciale du traitement des goudrons qui s'opère ainsi qu'il suit :

**Première distillation :**

Houille :

Gaz — Goudron — Coke

**Deuxième distillation :**

Goudron :

| *Huiles légères brutes :* | *Huiles moyennes brutes :* | *Huiles lourdes brutes :* |
|---|---|---|
| Bouillant de 30 à 150° | Bouillant de 140 à 200° | Bouillant de 200 à 350° |

**Troisième distillation :**

*Huiles légères brutes :*

(2 fractionnements).

1re fraction : Distille avant 140°.

2e fraction : Distille au-dessus de 140° ; est ajouté au 2e fractionnement des huiles moyennes.

*Huiles moyennes brutes :*

(3 fractionnements).

1re fraction : Distille au-dessous de 130° ; est ajouté au naphte.

2e fraction : Distille entre 130 et 200° ; (Huile moyenne rectifiée).

3e fraction : Distille au-dessus de 200° ; est ajouté aux huiles lourdes.

## Traitement par voie humide :

| *Huiles légères rectifiées, ou naphte:* 30 à 140° | *Huiles moyennes rectifiées:* 130 à 200°: | *Huiles lourdes brutes:* 200 à 350°. |
|---|---|---|

Toutes ces huiles sont soumises à des lavages successifs à l'eau, à l'acide sulfurique, puis à l'eau, à la soude, et enfin à l'eau.

## Quatrième distillation :

| *Naphte :* | *Huiles moyennes rectifiées et épurées:* | *Huiles lourdes épurées:* |
|---|---|---|
| 4 fractionnements)<br>1re fraction : Distille entre 10 et 80°.<br>2e fraction : Distille entre 80 et 150° (Benzol)<br>3e fraction : Distille entre 115 et 150°.<br>4e fraction : Distille au-dessus de 150°. | (2 fractionnements)<br>1re fraction : Distille entre 140 et 190°.<br>2e fraction : Distille au-dessus de 190°; est ajouté aux huiles lourdes. | (3 fractionnements)<br>1re fraction : Distille entre 215 et 230°.<br>2e fraction : Distille entre 230 et 290°.<br>3e fraction : Distille entre 300 et 340°. |

# HYDRAULIQUE

### PUISSANCE MOTRICE D'UNE CHUTE D'EAU EN CHEVAUX.

Cette puissance a pour mesure l'expression :

$$P = \frac{1000\,VH}{75} \times K.$$

Dans laquelle :

P est la force en chevaux (75 kilogrammètres par seconde);

V le volume d'eau dépensé par seconde en mètres cubes;

H la hauteur de la chute en mètres;

K le coefficient d'utilisation. Sa valeur peut aller jusqu'à 0.85 dans les meilleures circonstances et descendre au-dessous de 0.25 avec une mauvaise installation. La valeur moyenne d'un moteur hydraulique convenable est $K = 0.65$.

### TABLEAU DU RENDEMENT DES DIVERS SYSTÈMES DE ROUES HYDRAULIQUES.

Roues à aubes planes, dites en dessous : 0.10 à 0.35.

Roues pendantes : $20\,AV^2$.

Roues à palettes planes dites de côté, encaissées dans un coursier circulaire : 0.65 à 0.75

Roues à aubes courbes dites à la Poncelet : 0.55 à 0.65.

Roues en dessus à augets : 0.65 à 0.75.

Turbines. 0.60 à 0.70.

Roues Sagebien : 0 70 à 0.80.

Roues à admission intérieure : 0.84 à 0.90.

### ÉCOULEMENT DE L'EAU.

Lorsqu'on fait abstraction de quelques circonstances physiques influentes, et que l'on ne considère d'abord que d'un point de vue théorique l'écoulement d'un liquide à travers un orifice, on trouve avec *Torricelli*, qui a le premier démontré ce théorème, que la vitesse moyenne $v$ d'une tranche liquide, à la suite d'un orifice, est celle que cette tranche acquerrait en tombant librement dans le vide d'une hauteur $h$ égale à la

profondeur du centre de l'orifice au-dessous du niveau du liquide.

$g = 9^{m}.80896$ étant l'accélération des graves pendant leur chute, on a donc :

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{et} \quad h = \frac{v^2}{2g},$$

ou

$$v = 4.4292\sqrt{h} \quad \text{et} \quad h = 0^{m}.05097\,v^2$$

Ce sont ces relations entre la vitesse théorique $v$ et la hauteur correspondante $h$ qui sont données dans ce carnet.

A, étant l'aire d'un orifice, $h$ la hauteur du niveau liquide au-dessus du centre de gravité de cette aire, et $v = \sqrt{2gh}$ la vitesse avec laquelle il franchit l'orifice,

$$Av = A\sqrt{2gh}$$

exprimera en mètres cubes le volume de liquide qui, *théoriquement*, franchirait l'orifice A en une seconde. Mais le volume *réel* Q, débité par cet orifice, est moindre. En général, la veine liquide se *contracte* à la sortie sur *chacun* des bords de l'orifice, lorsque ce bord n'est pas situé dans le plan même de la paroi intérieure du réservoir. Il en résulte que pour obtenir le volume réel Q il faut, en général, multiplier le volume théorique par une fraction $m$ que l'on appelle *coefficient de contraction* et l'on a ainsi :

$$Q = mAv = mA\sqrt{2gh}.$$

Le coefficient $m$ a été déterminé avec beaucoup de soin par MM. *Poncelet* et *Lesbros* pour le cas des orifices rectangulaires verticaux. Pour des charges comprises entre $0^{m}.30$ et $3^{m}$ et des *hauteurs* d'orifice comprises entre $0^{m}.01$ et $0^{m}.20$ et au-dessus, $m$ a pour limites très-approchées 0.600 et 0.650, ou en moyenne 0.625, la contraction étant *complète*, c'est-à-dire ayant lieu sur les quatre côtés. Ainsi, on a pour ce cas, avec approximation, en appelant L la largeur de l'orifice et $a$ sa hauteur :

$$Q = 0.625\, a\, L\sqrt{2gh}.$$

Faisant $L = 1^{mè}$, donnant à $a$ les valeurs inscrites à la première colonne verticale de la table p. 238, et cherchant

dans la première ligne horizontale les valeurs de la charge *h* sur le centre, on trouvera la *dépense* Q que l'on a exprimée en *litres* et qu'on aurait en mètres cubes en reculant la virgule de trois rangs vers la gauche.

Si la contraction se trouvait supprimée sur *un* côté, il faudrait multiplier ces chiffres, d'ailleurs un peu incertains, par 1.035. Enfin, si la contraction n'avait lieu que sur *deux* côtés ou sur *un* seul, il faudrait les multiplier respectivement par 1.072, et par 1.125 pour avoir la dépense Q avec une approximation suffisante. (Voir *Détails complémentaires*, p. 244 et 247.)

## POUCE D'EAU

Le pouce d'eau dit de fontainier, ancienne unité de jaugeage était le produit de l'écoulement obtenu par un orifice circulaire de 1 pouce de diamètre ayant 1 ligne de charge sur le sommet de l'orifice. Le pouce d'eau équivaut à une dépense de 19m.c.19527 en 24 heures.

**Produit d'un certain nombre de pouces d'eau de fontainier par unité de temps** (voir p. 239).

| NOMBRE des pouces d'eau. | PRODUIT EN LITRES. | | |
|---|---|---|---|
| | PAR MINUTE. | PAR HEURE. | PAR JOUR DE 24 H. |
| | litres. | litres. | litres. |
| 1 | 13, 33 | 799, 8 | 19195, 3 |
| 2 | 26, 66 | 1599, 6 | 38390, 6 |
| 3 | 39, 99 | 2399, 4 | 57585, 9 |
| 4 | 53, 32 | 3199, 2 | 76781, 2 |
| 5 | 66, 65 | 3999, 0 | 95976, 5 |
| 6 | 79, 98 | 4798, 8 | 115171, 8 |
| 7 | 93, 31 | 5598, 6 | 134367, 1 |
| 8 | 106, 64 | 6398, 4 | 153562, 4 |
| 9 | 119, 97 | 7198, 2 | 172757, 7 |
| 10 | 133, 30 | 7998 | 191953 |
| 20 | 266, 60 | 15996 | 383906 |
| 30 | 399, 90 | 23994 | 575859 |
| 40 | 533, 20 | 31992 | 767812 |
| 50 | 666, 50 | 39990 | 959765 |
| 60 | 799, 80 | 47988 | 1151718 |
| 70 | 933, 10 | 55986 | 1343671 |
| 80 | 1066, 40 | 63984 | 1535624 |
| 90 | 1199, 70 | 71982 | 1727577 |
| 100 | 1333 | 79980 | 1919530 |
| 200 | 2666 | 159960 | 3839060 |
| 300 | 3999 | 239940 | 5758590 |
| 400 | 5332 | 319920 | 7678120 |
| 500 | 6665 | 399900 | 9597650 |
| 1000 | 13330 | 799800 | 19195300 |

**Quantité d'eau qui s'écoule en moyenne, en une seconde, par une vanne verticale trempée de 1 décimètre carré d'ouverture, avec une charge donnée sur le centre de la vanne.**

| CHARGE | DÉPENSE | CHARGE | DÉPENSE. | CHARGE | DÉPENSE. |
|---|---|---|---|---|---|
| mètres. | litres. | mètres. | litres. | mètres. | litres. |
| » | » | **0,35** | 16,3771 | **0,70** | 23,1607 |
| **0,01** | 2,76823 | 0,36 | 16,6094 | 0,71 | 23,3256 |
| 0,02 | 3,91487 | 0,37 | 16,8485 | 0,72 | 23,4892 |
| 0,03 | 4,79472 | 0,38 | 17,0945 | 0,73 | 23,6518 |
| 0,04 | 5,53647 | 0,39 | 17,2876 | 0,74 | 23,8133 |
| **0,05** | 6,18996 | **0,40** | 17,5079 | **0,75** | 23,9736 |
| 0,06 | 6,78075 | 0,41 | 17,7253 | 0,76 | 24,1329 |
| 0,07 | 7,32406 | 0,42 | 17,9402 | 0,77 | 24,2912 |
| 0,08 | 7,82975 | 0,43 | 18,1525 | 0,78 | 24,4484 |
| 0,09 | 8,30470 | 0,44 | 18,3624 | 0,79 | 24,6046 |
| **0,10** | 8,75393 | **0,45** | 18,5699 | **0,80** | 24,7598 |
| 0,11 | 9,18120 | 0,46 | 18,7751 | 0,81 | 24,9141 |
| 0,12 | 9,58945 | 0,47 | 18,9781 | 0,82 | 25,0674 |
| 0,13 | 9,98101 | 0,48 | 19,1789 | 0,83 | 25,2198 |
| 0,14 | 10,3568 | 0,49 | 19,3776 | 0,84 | 25,3713 |
| **0,15** | 10,7213 | **0,50** | 19,5744 | **0,85** | 25,5219 |
| 0,16 | 11,0729 | 0,51 | 19,7691 | 0,86 | 25,6715 |
| 0,17 | 11,4137 | 0,52 | 19,9620 | 0,87 | 25,8204 |
| 0,18 | 11,7446 | 0,53 | 20,1530 | 0,88 | 25,9683 |
| 0,19 | 12,0665 | 0,54 | 20,3423 | 0,89 | 26,1155 |
| **0,20** | 12,3799 | **0,55** | 20,5299 | **0,90** | 26,2618 |
| 0,21 | 12,6853 | 0,56 | 20,7156 | 0,91 | 26,4073 |
| 0,22 | 12,9842 | 0,57 | 20,8997 | 0,92 | 26,5520 |
| 0,23 | 13,2760 | 0,58 | 21,0822 | 0,93 | 26,6959 |
| 0,24 | 13,5615 | 0,59 | 21,2632 | 0,94 | 26,8390 |
| **0,25** | 13,8412 | **0,60** | 21,4427 | **0,95** | 26,9814 |
| 0,26 | 14,1153 | 0,61 | 21,6205 | 0,96 | 27,1230 |
| 0,27 | 14,3842 | 0,62 | 21,7971 | 0,97 | 27,2639 |
| 0,28 | 14,6481 | 0,63 | 21,9722 | 0,98 | 27,4041 |
| 0,29 | 14,9074 | 0,64 | 22,1459 | 0,99 | 27,5436 |
| **0,30** | 15,1622 | **0,65** | 22,3182 | **1,00** | 27,6823 |
| 0,31 | 15,4120 | 0,66 | 22,4892 | 1,05 | 28,3660 |
| 0,32 | 15,6595 | 0,67 | 22,6590 | 1,10 | 29,0335 |
| 0,33 | 15,9023 | 0,68 | 22,8275 | 1,15 | 29,6860 |
| 0,34 | 16,1444 | 0,69 | 22,9947 | 1,20 | 30,3245 |

| CHARGE | DÉPENSE | CHARGE | DÉPENSE | CHARGE | DÉPENSE |
|---|---|---|---|---|---|
| mètres. | litres. | mètres. | litres. | mètres. | litres. |
| **1,25** | 30,9798 | **2,25** | 41,5235 | **3,25** | 49,9051 |
| 1,30 | 31,5627 | 2,30 | 41,9824 | 3,30 | 50,2875 |
| 1,35 | 32,7542 | 2,35 | 42,4362 | 3,35 | 50,6670 |
| 1,40 | 33,3340 | 2,40 | 42,8853 | 3,40 | 51,0437 |
| 1,45 | 33,9038 | 2,45 | 43,3297 | 3,45 | 51,4177 |
| **1,50** | 34,4642 | **2,50** | 43,7696 | **3,50** | 51,7889 |
| 1,55 | 35,0157 | 2,55 | 44,2052 | 3,55 | 52,1575 |
| 1,60 | 35,5586 | 2,60 | 44,6364 | 3,60 | 52,5235 |
| 1,65 | 36,0934 | 2,65 | 45,0636 | 3,65 | 52,8870 |
| 1,70 | 36,6203 | 2,70 | 45,4867 | 3,70 | 53,2481 |
| **1,75** | 37,1398 | **2,75** | 45,9060 | **3,75** | 53,6066 |
| 1,80 | 37,6521 | 2,80 | 46,3214 | 3,80 | 53,9628 |
| 1,85 | 38,1575 | 2,85 | 46,7332 | 3,85 | 54,3167 |
| 1,90 | 38,6563 | 2,90 | 47,1413 | 3,90 | 54,6682 |
| 1,95 | 39,1487 | 2,95 | 47,5460 | 3,95 | 55,0174 |
| **2,00** | 39,6351 | **3,00** | 47,9472 | **4,00** | 55,3647 |
| 2,05 | 40,1155 | 3,05 | 48,3451 | | |
| 2,10 | 40,5903 | 3,10 | 48,7398 | | |
| 2,15 | 41,0595 | 3,15 | 49,1313 | | |
| 2,20 | 41,5234 | 3,20 | 49,5197 | | |

**Produit de pouce dit de fontainier, par secondes, etc.**

| NOMBRE des unités de temps. | SECONDES. | MINUTES. | HEURES. | JOURS. |
|---|---|---|---|---|
| | m. c. | m. c. | m. c. | m. c. |
| **1** | 0.000 222 166 | 0.0133 299 | 0.7998 | 19.1953 |
| **2** | 0.000 444 333 | 0.0266 599 | 1.5996 | 38.3906 |
| **3** | 0.000 666 499 | 0.0399 899 | 2.3994 | 57.5859 |
| **4** | 0.000 888 666 | 0.0533 199 | 3.1992 | 76.7822 |
| **5** | 0.001 110 833 | 0.0666 499 | 3.9990 | 95.9765 |
| **6** | 0.001 332 999 | 0.0799 799 | 4.7988 | 115.1718 |
| **7** | 0.001 555 166 | 0.0933 099 | 5.5986 | 134.3671 |
| **8** | 0.001 999 499 | 0.1066 399 | 6.3984 | 153.5624 |
| **9** | 0.002 221 666 | 0.1199 699 | 7.1982 | 172.7577 |
| **10** | 0.002 221 666 | 0.1332 999 | 7.9980 | 191.9530 |

## DÉVERSOIRS.

On appelle ainsi les orifices rectangulaires pratiqués dans la paroi verticale plane et mince d'un réservoir entièrement découvert par le haut et où, dès lors, la charge sur le sommet est nulle. $h$ étant la différence de niveau comprise entre le seuil du déversoir et la partie supérieure de la nappe liquide, prise en amont du plan vertical où l'inflexion de cette lame commence à se faire sentir, $l$ la largeur du déversoir, on est convenu de mesurer la dépense Q par la formule

$$Q = \mu l h \sqrt{2gh}$$

$\mu$ est un *coefficient* assez incertain qui ne dépasse pas 0.450 tant que la largeur est supérieure à $0^m.74$, qui décroît jusqu'à 0.380 lorsque la largeur $l$ s'abaisse à 0.20.

Dans les calculs approximatifs, on fait en moyenne $\mu = 0.405$ ; ce qui donnerait

$$Q = 1.794\ lh\sqrt{h} \text{ soit} = 1.8\ lh\sqrt{h}$$

C'est d'après cette formule que la table de la page 242 a été calculée. On n'en doit considérer les résultats que comme des approximations (voir p. 247).

### ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX A RÉGIME UNIFORME.

Désignons par U la vitesse moyenne, en mètres par seconde ;
$\Omega$ la section, $\chi$ le périmètre mouillé ;
$R = \frac{\Omega}{\chi}$, le rayon moyen (rayon de la couche concentrique moyenne dans le cas où la section serait demi-circulaire) ;
I la pente par kilomètre ;
A un coefficient susceptible de varier avec la nature des parois et aussi avec la grandeur de R.

On a la relation

$$R\,I = A\,U^2$$

La constante de Tadini, adoptée par plusieurs hydrauliciens, admet la valeur

$$A = \text{constante} = 0{,}4.$$

**Quantité d'eau que débitent par seconde des lames en déversoir, versant à l'air libre.**

| HAUTEUR | LARGEUR. | | | | | | | | | | HAUTEUR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0m,10 | 0m,20 | 0m,30 | 0m,40 | 0m,50 | 0m,60 | 0m,70 | 0m,80 | 0m,90 | 1m,00 | |
| mètres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | litres. | mètres. |
| **0,01** | 0, 18 | 0, 36 | 0, 54 | 0, 72 | 0, 90 | 1, 08 | 1, 26 | 1, 44 | 1, 61 | 1, 79 | **0,01** |
| 0, 02 | 0, 51 | 1, 01 | 1, 52 | 2, 03 | 2, 54 | 3, 04 | 3, 55 | 4, 06 | 4, 56 | 5, 07 | 0,02 |
| 0, 03 | 0, 93 | 1, 86 | 2, 80 | 3, 73 | 4, 66 | 5, 59 | 6, 52 | 7, 46 | 8, 39 | 9, 32 | 0,03 |
| 0, 04 | 1, 44 | 2, 87 | 4, 31 | 5, 74 | 7, 18 | 8, 61 | 10, 05 | 11, 48 | 12, 92 | 14, 35 | 0,04 |
| 0, 05 | 2, 00 | 4, 01 | 6, 01 | 8, 02 | 10, 02 | 12, 03 | 14, 03 | 16, 04 | 18, 04 | 20, 50 | 0,05 |
| 0, 06 | 2, 64 | 5, 27 | 7, 91 | 10, 55 | 13, 18 | 15, 82 | 18, 46 | 21, 09 | 23, 73 | 26, 36 | 0,06 |
| 0, 07 | 3, 32 | 6, 65 | 9, 97 | 13, 29 | 16, 61 | 19, 94 | 23, 26 | 26, 58 | 29, 90 | 33, 23 | 0,07 |
| 0, 08 | 4, 06 | 8, 12 | 12, 18 | 16, 24 | 20, 29 | 24, 35 | 28, 41 | 32, 47 | 36, 53 | 40, 59 | 0,08 |
| 0, 09 | 4, 84 | 9, 69 | 14, 53 | 19, 38 | 24, 22 | 29, 07 | 33, 91 | 38, 75 | 43, 60 | 48, 44 | 0,09 |
| **0,10** | 5, 67 | 11, 35 | 17, 02 | 22, 70 | 28, 37 | 34, 04 | 39, 72 | 45, 39 | 51, 07 | 56, 74 | **0,10** |
| 0, 11 | 6, 54 | 13, 08 | 19, 62 | 26, 16 | 32, 70 | 39, 24 | 45, 78 | 52, 32 | 58, 86 | 65, 40 | 0,11 |
| 0, 12 | 7, 45 | 14, 90 | 22, 36 | 29, 81 | 37, 26 | 44, 71 | 52, 17 | 60, 62 | 67, 07 | 74, 52 | 0,12 |
| 0, 13 | 8, 41 | 16, 82 | 25, 22 | 33, 63 | 42, 04 | 50, 45 | 58, 86 | 67, 27 | 75, 67 | 84, 08 | 0,13 |
| 0, 14 | 9, 40 | 18, 79 | 28, 19 | 37, 58 | 46, 98 | 56, 37 | 65, 77 | 75, 16 | 84, 56 | 93, 95 | 0,14 |
| 0, 15 | 10, 42 | 20, 84 | 31, 26 | 41, 67 | 52, 09 | 62, 51 | 72, 93 | 83, 35 | 93, 77 | 104, 19 | 0,15 |
| 0, 16 | 11, 48 | 22, 97 | 34, 45 | 45, 93 | 57, 41 | 68, 90 | 80, 38 | 91, 86 | 103, 34 | 114, 83 | 0,16 |
| 0, 17 | 12, 57 | 25, 14 | 37, 72 | 50, 29 | 62, 86 | 75, 43 | 88, 00 | 100, 58 | 113, 15 | 125, 72 | 0,17 |
| 0, 18 | 13, 70 | 27, 40 | 41, 09 | 54, 79 | 68, 49 | 82, 19 | 95, 89 | 109, 58 | 123, 28 | 136, 98 | 0,18 |
| 0, 19 | 14, 86 | 29, 72 | 44, 58 | 59, 44 | 74, 29 | 89, 15 | 104, 01 | 118, 87 | 133, 73 | 148, 59 | 0,19 |
| **0,20** | 16, 05 | 32, 09 | 48, 14 | 64, 18 | 80, 23 | 96, 28 | 112, 32 | 128, 37 | 144, 41 | 160, 46 | **0,20** |
| 0, 21 | 17, 27 | 34, 53 | 51, 80 | 69, 06 | 86, 33 | 103, 59 | 120, 86 | 138, 12 | 155, 39 | 172, 65 | 0,21 |
| 0, 22 | 18, 51 | 37, 03 | 55, 54 | 54, 06 | 92, 57 | 111, 09 | 129, 60 | 148, 12 | 166, 63 | 185, 15 | 0,22 |
| 0, 23 | 19, 79 | 39, 57 | 59, 36 | 79, 14 | 98, 93 | 118, 71 | 138, 50 | 158, 28 | 178, 07 | 197, 85 | 0,23 |
| 0, 24 | 21, 09 | 42, 18 | 63, 28 | 84, 37 | 105, 46 | 126, 55 | 147, 65 | 168, 74 | 189, 83 | 210, 92 | 0,24 |
| 0, 25 | 22, 43 | 44, 85 | 67, 28 | 89, 71 | 112, 13 | 134, 56 | 156, 99 | 179, 42 | 201, 89 | 224, 27 | 0,25 |
| 0, 26 | 23, 79 | 47, 57 | 71, 36 | 95, 15 | 118, 94 | 142, 72 | 166, 51 | 190, 30 | 214, 09 | 237, 87 | 0,26 |
| 0, 27 | 25, 16 | 50, 32 | 75, 48 | 100, 65 | 125, 81 | 150, 97 | 176, 13 | 201, 19 | 226, 45 | 251, 61 | 0,27 |
| 0, 28 | 26, 57 | 53, 14 | 79, 71 | 106, 28 | 132, 85 | 159, 43 | 186, 00 | 212, 57 | 239, 14 | 265, 71 | 0,28 |
| 0, 29 | 28, 01 | 56, 02 | 84, 04 | 112, 05 | 140, 06 | 168, 07 | 196, 08 | 224, 09 | 252, 11 | 280, 12 | 0,29 |
| **0,30** | 29, 48 | 58, 95 | 88, 43 | 117, 90 | 147, 38 | 176, 86 | 206, 33 | 235, 81 | 265, 28 | 294, 76 | **0,30** |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,31 | 30,97 | 61,94 | 92,91 | 123,87 | 154,88 | 185,81 | 216,78 | 247,75 | 278,72 | 309,69 | 0,31 |
| 0,32 | 32,48 | 64,96 | 97,43 | 129,91 | 162,39 | 194,87 | 227,34 | 259,82 | 292,30 | 324,78 | 0,32 |
| 0,33 | 34,00 | 68,00 | 102,00 | 136,00 | 170,00 | 234,00 | 238,00 | 272,00 | 306,01 | 340,01 | 0,33 |
| 0,34 | 35,55 | 71,11 | 106,66 | 142,22 | 177,77 | 213,32 | 248,88 | 284,43 | 319,99 | 355,54 | 0,34 |
| 0,35 | 37,14 | 74,28 | 111,42 | 148,55 | 185,69 | 222,83 | 259,97 | 297,11 | 334,25 | 371,38 | 0,35 |
| 0,36 | 38,75 | 77,51 | 116,26 | 155,01 | 193,77 | 232,52 | 271,28 | 310,03 | 348,78 | 387,54 | 0,36 |
| 0,37 | 40,38 | 80,76 | 121,14 | 161,52 | 201,90 | 242,28 | 282,66 | 323,04 | 363,42 | 403,80 | 0,37 |
| 0,38 | 42,01 | 84,03 | 126,04 | 168,06 | 210,07 | 252,09 | 294,10 | 336,12 | 378,13 | 420,15 | 0,38 |
| 0,39 | 43,69 | 87,38 | 131,07 | 174,76 | 218,44 | 262,13 | 305,82 | 349,51 | 393,20 | 436,89 | 0,39 |
| **0,40** | 45,38 | 90,75 | 136,13 | 181,50 | 226,88 | 272,26 | 317,63 | 363,01 | 408,39 | 453,76 | **0,40** |
| 0,41 | 47,09 | 94,18 | 141,28 | 188,37 | 235,46 | 282,55 | 329,65 | 376,74 | 423,83 | 470,92 | 0,41 |
| 0,42 | 48,82 | 97,64 | 146,46 | 195,27 | 244,09 | 292,91 | 341,73 | 390,55 | 439,37 | 488,19 | 0,42 |
| 0,43 | 50,57 | 101,15 | 151,72 | 202,29 | 252,87 | 303,44 | 354,01 | 404,59 | 455,16 | 505,73 | 0,43 |
| 0,44 | 52,36 | 104,71 | 157,07 | 209,42 | 261,78 | 314,13 | 366,49 | 418,84 | 471,20 | 523,55 | 0,44 |
| 0,45 | 54,15 | 108,30 | 162,45 | 216,60 | 270,75 | 324,90 | 379,05 | 433,20 | 487,35 | 541,50 | 0,45 |
| 0,46 | 55,96 | 111,93 | 167,89 | 223,86 | 279,82 | 335,79 | 391,75 | 447,72 | 503,68 | 559,64 | 0,46 |
| 0,47 | 57,81 | 115,62 | 173,43 | 231,24 | 289,05 | 346,86 | 404,67 | 462,47 | 520,28 | 578,09 | 0,47 |
| 0,48 | 59,66 | 119,32 | 178,98 | 238,65 | 298,31 | 357,97 | 417,63 | 477,29 | 536,95 | 596,61 | 0,48 |
| 0,49 | 61,52 | 123,04 | 184,56 | 246,08 | 307,60 | 369,12 | 430,64 | 492,16 | 553,68 | 615,19 | 0,49 |
| **0,50** | 63,41 | 126,83 | 190,24 | 253,65 | 317,03 | 380,48 | 443,89 | 507,30 | 570,72 | 634,13 | **0,50** |
| 0,51 | 65,33 | 130,66 | 196,00 | 261,33 | 326,66 | 391,99 | 457,32 | 522,65 | 587,99 | 653,32 | 0,51 |
| 0,52 | 67,27 | 134,53 | 201,80 | 269,06 | 336,33 | 403,59 | 470,86 | 538,12 | 605,39 | 672,66 | 0,52 |
| 0,53 | 69,20 | 138,41 | 207,61 | 276,81 | 346,02 | 415,22 | 484,42 | 553,63 | 622,83 | 692,03 | 0,53 |
| 0,54 | 71,14 | 142,29 | 213,43 | 284,57 | 355,72 | 426,86 | 498,00 | 569,14 | 640,29 | 711,43 | 0,54 |
| 0,55 | 73,13 | 146,27 | 219,40 | 292,53 | 365,67 | 438,80 | 511,93 | 585,07 | 658,20 | 731,33 | 0,55 |
| 0,56 | 75,16 | 150,32 | 225,48 | 300,65 | 375,81 | 450,97 | 526,13 | 601,29 | 676,45 | 751,61 | 0,56 |
| 0,57 | 77,20 | 154,39 | 231,59 | 308,78 | 385,98 | 463,18 | 540,37 | 617,57 | 694,77 | 771,96 | 0,57 |
| 0,58 | 79,23 | 158,46 | 237,70 | 316,93 | 396,16 | 475,39 | 554,62 | 633,85 | 713,09 | 792,32 | 0,58 |
| 0,59 | 81,29 | 162,58 | 243,87 | 325,16 | 406,45 | 487,74 | 569,04 | 650,33 | 731,62 | 812,91 | 0,59 |
| **0,60** | 83,37 | 166,75 | 250,12 | 333,49 | 416,87 | 500,24 | 583,61 | 666,99 | 750,36 | 833,73 | **0,60** |
| 0,61 | 85,45 | 170,91 | 256,36 | 341,82 | 427,27 | 512,73 | 598,18 | 683,64 | 769,00 | 854,55 | 0,61 |
| 0,62 | 87,57 | 175,15 | 262,72 | 350,29 | 437,87 | 525,44 | 613,02 | 700,59 | 788,16 | 875,74 | 0,62 |
| 0,63 | 89,71 | 179,42 | 269,13 | 358,84 | 448,55 | 538,26 | 627,97 | 717,69 | 807,40 | 897,11 | 0,63 |
| 0,64 | 91,83 | 183,67 | 275,50 | 367,34 | 459,17 | 551,01 | 642,84 | 734,68 | 826,51 | 918,35 | 0,64 |
| 0,65 | 94,00 | 187,99 | 281,99 | 375,99 | 469,98 | 563,98 | 657,98 | 751,97 | 845,97 | 939,97 | 0,65 |
| 0,66 | 96,17 | 192,35 | 288,52 | 384,70 | 480,87 | 577,05 | 673,22 | 769,40 | 865,57 | 961,74 | 0,66 |
| 0,67 | 98,36 | 196,73 | 295,09 | 393,46 | 491,82 | 590,19 | 688,55 | 786,92 | 885,28 | 983,64 | 0,67 |
| 0,68 | 100,58 | 201,15 | 301,73 | 402,30 | 502,88 | 603,46 | 704,03 | 804,61 | 905,18 | 1005,76 | 0,68 |
| 0,69 | 102,81 | 205,62 | 308,43 | 411,24 | 514,05 | 616,86 | 719,67 | 822,48 | 925,29 | 1028,10 | 0,69 |
| **0,70** | 105,07 | 210,13 | 315,20 | 420,26 | 525,33 | 630,39 | 735,46 | 840,52 | 945,59 | 1050,65 | **0,70** |

M. Bazin (*Mémoires des savants étrangers* 1865, t. 19) a établi quatre catégories qui correspondent aux cas les plus simples de la pratique :

| CATÉGORIES ÉTABLIES PAR M. BAZIN. | VALEUR DE A (I désignant la pente par kilomètres). |
|---|---|
| 1° Parois très-unies : ciment lisse, bois raboté avec soin. . . . . | $0,15\left(1+\frac{0,03}{R}\right)$ |
| 2° Parois unies : pierres de taille, briques, planches, etc. . . . . | $0,19\left(1+\frac{0,07}{R}\right)$ |
| 3° Parois peu unies : maçonnerie de moellons. . . . . | $0,24\left(1+\frac{0,25}{R}\right)$ |
| 4° Parois en terre. . . . . | $0,28\left(1+\frac{1,25}{R}\right)$ |

Dans ce dernier cas, A devient presque constant dès que R dépasse $2^m$ ; il y a juste accord avec la formule de Tadini pour $R = 2^m.90$.

Si V désigne la vitesse maxima dans la section considérée du cours d'eau, le rapport

$$\frac{U}{V} = \frac{2}{3} \quad \text{à} \quad \frac{4}{5}$$

dans les cas usuels. D'après M. Bazin

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{0,001\,A}}, \quad \text{ou} \quad V - U = 14\sqrt{\frac{RI}{1000}}$$

les valeurs de ce rapport tendent vers 1 à mesure que A diminue. Pour des parois de même nature, elles approchent d'autant plus d'une constante que R est plus grand. (Voir *Détails complémentaires*, p. 280 et 282).

# DÉTAILS COMPLÉMENTAIRES

## SUR L'HYDRAULIQUE.

---

Nous résumerons et compléterons ce qui concerne l'hydraulique par les données et formules ci-après :

*Notations :*

A surface immergée d'une aube verticale dans les roues pendantes.

$b_1$ coefficient de résistance.

D diamètre d'une conduite.

$g$ vitesse acquise par un corps qui tombe dans le vide après une seconde de chute $= 9.80896$.

$h$ charge d'eau sur le centre d'un orifice.

$h-h'$ différence de niveau entre deux biefs ou deux réservoirs à compter comme charge sur un orifice noyé.

H différence de niveau entre la surface de l'eau de deux réservoirs, entre les deux extrémités soit d'une conduite, soit d'un canal ou d'une section de canal.

I pente par mètre linéaire $= \frac{H}{L}$.

Longueur de l'aqueduc, du canal ou de la conduite.

Q volume de débit.

R rayon des tuyaux ou rayon moyen pour les canaux et dont la valeur est indiquée par une formule spéciale.

S surface de section, soit d'un canal, soit d'une conduite, etc.

V Vitesse maxima.

$v$ Vitesse moyenne.

### ÉCOULEMENT A GUEULE-BÉE.

Vitesse théorique : $v = \sqrt{2gh} = 4.4292\sqrt{h}$.

Ecoulement par un orifice noyé sur les deux faces ;

$$v = \sqrt{2gh - h'} = 4.4292\sqrt{h - h'}.$$

Dépense théorique : $Q = S\,v$.

Dépense effective : $Q = ksv$;

$k$, coefficient de contraction déterminé expérimentalement pour chaque cas particulier.

### FORMULES USUELLES DE L'ÉCOULEMENT PAR LES ORIFICES.

Orifice très-petit en minces parois, circulaire ou rectangulaire versant à l'air libre suivi d'un coursier ou non :

$$Q = 0.62 S \sqrt{19.62 h};$$

Même orifice noyé :

$$Q = 0.62 S \sqrt{19.62 (h - h')}.$$

Orifice à ajutage rentrant égal en longueur à 2 ou 3 fois le diamètre de cet orifice :

$$Q = 0.50 S \sqrt{19.62 h}.$$

Orifice garni d'un ajutage cylindrique extérieur :

$$Q = 0.82 S \sqrt{19.62 h}.$$

Orifice garni d'un ajutage conique convergent :

$$Q = 0.942 S \sqrt{19.62 h},$$

Orifice garni d'un ajutage conique divergent :

$$Q = 1.107 S \sqrt{19.62 h}.$$

*Jaugeage des eaux courantes.* — La vitesse moyenne d'un cours d'eau est très-approximativement égale aux 8 dixièmes de la vitesse à la surface. Cette dernière s'obtient directement à l'aide d'un flotteur.

La vitesse moyenne se détermine encore par la formule de de Prony

$$v = -0.072 + 56.35 \sqrt{RI}.$$

$$\text{R, rayon moyen} = \frac{\text{surface moyenne de la section du canal}}{\text{périmètre mouillé.}}$$

I, pente par mètre de la surface de l'eau dans le canal

FORMULE DE M. DE SAINT-VENANT :

$$RI = 0.00040102\, v^{\frac{21}{11}}$$

de laquelle on tire

$$v = 60.158\,(RI)^{\frac{11}{21}}.$$

FORMULES DE MM. DARCY ET BAZIN. CANAUX DÉCOUVERTS.

1° Parois très-unies (ciment lisse, bois raboté avec soin, etc.) :

$$\frac{RI}{v^2} = 0.00015\left(1 + \frac{0.03}{R}\right); \text{ d'où } v = \sqrt{\frac{RI}{0.00015\left(1 + \frac{0.03}{R}\right)}}.$$

2° Parois unies (pierres de taille, briques, planches, ciment mélangé de sable, etc.) :

$$\frac{RI}{v^2} = 0.00019\left(1 + \frac{0.07}{R}\right); \text{ d'où } v = \sqrt{\frac{RI}{0.00019\left(1 + \frac{0.07}{R}\right)}};$$

3° Parois peu unies en maçonneries de moellons :

$$\frac{RI}{v^2} = 0.00024\left(1 + \frac{0.25}{R}\right); \text{ d'où } v = \sqrt{\frac{RI}{0.00024\left(1 + \frac{0.25}{R}\right)}};$$

4° Parois en terre :

$$\frac{RI}{v^2} = 0.00028\left(1 + \frac{1.25}{R}\right); \text{ d'où } v = \sqrt{\frac{RI}{0.00028\left(1 + \frac{1.25}{R}\right)}};$$

Déversoirs à minces parois.

$$Q = 1.76827\, L h^{\frac{3}{2}} = 1.76827\, L \sqrt{h^3};$$

Déversoirs en maçonnerie.

$$Q = 0.405\, L h \sqrt{19.62 h} = 1.80\, L h \sqrt{h}.$$

Formule spéciale pour les grands déversoirs :

$$Q = 1.96\, L h \sqrt{h}.$$

VANNES OU PERTUIS D'USINES PLACÉS VERTICALEMENT.

Le seuil des vannages d'usines étant généralement au niveau du radier ou fond du canal, la dépense se calcule au moyen de la formule suivante :

$$Q = 0.625\, L h \sqrt{19.62 h}.$$

Quand les vannes sont inclinées et que les deux côtés de l'orifice sont dans le prolongement des faces du réservoir, leur seuil étant disposé comme ci-dessus, le coefficient de contraction est d'après les expériences de Poncelet :

de { 0.74 pour une inclinaison de 1 de base sur 2 de hauteur.
{ 0.80 — 1 — 1 de hauteur.

MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX DE CONDUITE.

Vitesse moyenne d'après de Prony :

$$v = 53.58 \sqrt{\frac{DI}{4}} - 0.025$$

$$= 26.79 \sqrt{DI} - 0.025.$$

Vitesse moyenne d'après Eytelwein :

$$v = 26.44 \sqrt{\frac{HD}{L + 54.5}}.$$

Vitesse moyenne d'après de Saint-Venant :

$$v = 114.50 \left(\frac{DI}{4}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Vitesse moyenne d'après Darcy :

$$v = \sqrt{I\frac{R}{b_1}}; \qquad b_1 = 0.000507 + \frac{0.0000647}{R}.$$

$$v = \frac{1.273\,Q}{D^2}.$$

Perte de charge ou pente par mètre courant d'une conduite :

$$I = \frac{b_1 v^2}{R} = \frac{3.241\,b_1}{D^5}\,Q^2.$$

Débit : $$Q = VS = \frac{D^2 v}{1.273}.$$

Diamètre des tuyaux d'après Darcy :

$$D = \sqrt[5]{\frac{3.241\,b_1}{I}\,Q^2}.$$

On calcule encore le diamètre par la formule ci-après :

$$D = \sqrt[5]{\left(\frac{Q}{20}\right)^2 \frac{L}{H}}.$$

**Tableau donnant les valeurs calculées de $b_1$, pour des diamètres variant entre 1 centimètre et 1 mètre.**

| DIAMÈTRES | VALEURS de $b_1$ | DIAMÈTRES | VALEURS de $b_1$ | DIAMÈTRES | VALEURS de $b_1$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **0.01** | 0.001801 | **0.21** | 0.000568 | 0.41 | 0.000538 |
| 0.02 | 0.001154 | 0.22 | 0.000565 | 0.42 | 0.000537 |
| 0.03 | 0.000938 | 0.23 | 0.000563 | 0.43 | 0.000537 |
| 0.04 | 0.000830 | 0.24 | 0.000560 | 0.44 | 0.000536 |
| 0.05 | 0.000765 | 0.25 | 0.000558 | 0.45 | 0.000535 |
| 0.06 | 0.000722 | 0.26 | 0.000556 | 0.46 | 0.000535 |
| 0.07 | 0.000691 | 0.27 | 0.000554 | 0.47 | 0.000534 |
| 0.08 | 0.000668 | 0.28 | 0.000553 | 0.48 | 0.000533 |
| 0.09 | 0.000650 | 0.29 | 0.000551 | 0.49 | 0.000533 |
| 0.10 | 0.000636 | 0.30 | 0.000550 | 0.50 | 0.000532 |
| **0.11** | 0.000624 | **0.31** | 0.000548 | **2.55** | 0.000530 |
| 0.12 | 0.000606 | 0.32 | 0.000547 | 0.60 | 0.000528 |
| 0.13 | 0.000599 | 0.33 | 0.000546 | 0.65 | 0.000526 |
| 0.14 | 0.000593 | 0.34 | 0.000545 | 0.70 | 0.000525 |
| 0.15 | 0.000587 | **0.35** | 0.000543 | 0.75 | 0.000524 |
| 0.16 | 0.000583 | 0.36 | 0.000542 | 0.80 | 0.000523 |
| 0.17 | 0.000578 | 0.37 | 0.000541 | 0.85 | 0.000522 |
| 0.18 | 0.000575 | 0.38 | 0.000541 | 0.90 | 0.000521 |
| 0.19 | 0.000571 | 0.39 | 0.000540 | 0.95 | 0.000520 |
| 0.20 | 0.000568 | 0.40 | 0.000539 | 1,00 | 0.000519 |

**Table de formules pratiques donnant les moyens de déterminer le diamètre d'une conduite, quand la pente par mètre et le volume d'eau à débiter sont donnés.**

| DIAMÈTRES. | VALEUR DE $\frac{I}{Q^2}$ DANS LES TUYAUX | | DIAMÈTRES | VALEUR DE $\frac{I}{Q^2}$ DANS LES TUYAUX | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Neufs. | En service courant. | | Neufs. | En service courant. |
| **0,01** | 58370410, | 87555615, | **0,31** | 0, 62037 | 0, 93055 |
| 0, 02 | 1168785, 62 | 1753178, 43 | 0, 32 | 0, 52834 | 0, 79251 |
| 0, 03 | 125105, 267 | 187657, 9005 | 0, 33 | 0, 45217 | 0, 67825 |
| 0, 04 | 26269, 560 | 39404, 34 | 0, 34 | 0, 38876 | 0, 58314 |
| 0, 05 | 7933, 9670 | 11900, 4505 | 0, 35 | 0, 33507 | 0, 50261 |
| 0, 06 | 3009, 2618 | 4513, 8927 | 0, 36 | 0, 29052 | 0, 43578 |
| 0, 07 | 1332, 5000 | 1998, 75 | 0, 37 | 0, 25285 | 6, 38928 |
| 0, 08 | 660, 7018 | 991, 051 | 0, 38 | 0, 22128 | C, 33193 |
| 0, 09 | 336, 7633 | 535, 1449 | 0, 39 | 0, 19398 | 0, 29097 |
| 0, 10 | 206, 1276 | 309, 1914 | 0, 40 | 0, 17059 | 0, 25588 |
| **0, 11** | 125, 5741 | 188, 3611 | **0, 41** | 0, 14188 | 0, 21282 |
| 0, 12 | 79, 9725 | 119, 9587 | 0, 42 | 0, 13317 | 0, 19975 |
| 0, 13 | 52, 8974 | 79, 3461 | 0, 43 | 0, 11839 | 0, 17758 |
| 0, 14 | 36, 0965 | 54, 1447 | 0, 44 | 0, 10534 | 0, 15801 |
| 0, 15 | 25, 5616 | 38, 3424 | 0, 45 | 0, 09396 | 0, 14094 |
| 0, 16 | 18, 1433 | 27, 2150 | 0, 46 | 0, 08418 | 0, 12627 |
| 0, 17 | 13, 3076 | 19, 1614 | 0, 47 | 0, 07546 | 0, 11319 |
| 0, 18 | 9, 9138 | 14, 8707 | 0, 48 | 0, 06779 | 0, 10168 |
| 0, 19 | 7, 5222 | 11, 2833 | 0, 49 | 0, 06115 | 0, 09173 |
| 0, 20 | 5, 7832 | 8, 6748 | 0, 50 | 0, 05517 | 0, 08275 |
| **0, 21** | 4, 5074 | 6, 7611 | **0, 55** | 0, 03413 | 0, 05120 |
| 0, 22 | 3, 5531 | 5, 3296 | 0, 60 | 0, 02200 | 0, 03300 |
| 0, 23 | 2, 8349 | 4, 2523 | 0, 65 | 0, 01555 | 0, 02333 |
| 0, 24 | 2, 2794 | 3, 4192 | 0, 70 | 0, 01012 | 0, 01518 |
| 0, 25 | 1, 8519 | 2, 7769 | 0, 75 | 0, 007156 | 0, 010734 |
| 0, 26 | 1, 51665 | 2, 27497 | 0, 80 | 0, 005172 | 0, 007758 |
| 0, 27 | 1, 25132 | 1, 87698 | 0, 85 | 0, 003812 | 0, 005715 |
| 0, 28 | 1, 04139 | 1, 56208 | 0, 90 | 0, 002859 | 0, 004288 |
| 0, 29 | 0, 87064 | 1, 30596 | 0, 95 | 0, 002178 | 0, 003267 |
| 0, 30 | 0, 73356 | 1, 10034 | 1, 00 | 0, 001682 | 0, 002532 |

**Mouvement de l'eau dans les conduites de divers diamètres, établissant les relations entre les volumes écoulés, en litres ou en pouces, la charge par mètre, et la vitesse.**

(Extrait des *Notices et Tables destinées à faciliter les calculs des éléments d'une distribution d'eau*, par M. Mary, ing. en chef des p. et ch.

| DIAMÈTRE. | Volume 0.99977 = 4 P 5 | | Volume 1.99953 = 9 P | | Volume 3.1103 = 14 P | | Volume 3.999 = 18 P | | Volume 5.11 = 23 P | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. |
| 0.06 | 0.00 330 06 | 0.353 23 | 0.01 228 36 | 0.703 10 | 0.0 299 14 | 1.0 993 | 0.04 798 0 | 1.4 131 | 0.07 791 | 1.8 057 |
| 0.081 | 0.00 082 222 | 0.194 86 | 0.00 294 814 | 0.389 74 | 0.0 068 36 | 0.6 064 | 0.01 110 3 | 0.7 795 | 0.01 791 4 | 0.9 961 |
| 0.108 | 0.00 022 592 | 0.109 15 | 0.00 075 407 | 0.218 30 | 0.0 017 851 | 0.3 396 | 0.00 274 1 | 0.4 366 | 0.00 441 1 | 0.5 579 |
| 0.162 | 0.00 004 | 0.048 48 | 0.00 012 246 | 0.097 01 | 0.0 002 592 | 0.1 5 | 0.00 042 59 | 0.1 990 | 0.00 063 50 | 0.2 479 |
| 0.216 | 0.00 001 314 | 0.027 43 | 0.00 003 592 | 0.054 56 | 0.0 000 755 | 0.0 86 | 0.00 011 13 | 0.1 092 | 0.00 017 22 | 0.1 395 |
| 0.25 | 0.00 000 8 | 0.020 35 | 0.00 002 144 | 0.040 89 | 0.0 000 405 | 0.0 688 | 0.00 005 92 | 0.0 814 | 0.00 008 96 | 0.1 041 |
| 0.30 | 0.00 000 426 | 0.014 13 | 0.00 000 986 | 0.028 28 | 0.0 000 194 | 0.0 44 | 0.00 002 83 | 0.0 566 | 0.00 004 05 | 0.0 723 |
| 0.35 | 0.00 000 228 | 0.010 413 | 0.00 000 605 | 0.020 79 | 0.0 000 103 | 0.0 323 | 0.00 001 53 | 0.0 415 | 0.00 003 05 | 0.0 531 |
| 0.40 | 0.00 000 158 | 0.007 956 | 0.00 000 380 | 0.015 972 | 0.0 000 068 | 0.0 263 | 0.00 000 9 | 0.0 318 | 0.00 001 34 | 0.0 406 |
| 0.45 | 0.00 000 112 | 0.006 282 | 0.00 000 257 | 0.012 570 | 0.0 000 444 | 0.0 196 | 0.00 000 577 | 0.0 251 | 0.00 000 8 | 0.0 321 |
| 0.50 | 0.00 000 08 | 0.005 093 | 0.00 000 161 | 0.010 181 | 0.0 000 296 | 0.0 153 | 0.00 000 4 | 0.0 204 | 0.00 000 544 | 0.0 261 |
| 0.60 | 0.00 000 046 | 0.003 536 | 0.00 000 093 | 0.007 073 | 0.0 000 153 | 0.0 11 | 0.00 000 213 | 0.0 141 | 0.00 000 293 | 0.0 181 |
| | Volume 5.999 = 27 P | | Volume 7.109 = 32 P | | Volume 7.998 = 36 P | | Volume 9.109 = 40 P | | Volume 9.998 = 45 P | |
| 0.06 | 0.10 68 | 2.11 98 | 0.14 905 5 | 2.50 88 | 0.18 868 5 | 2.82 62 | » | » | » | » |
| 0.081 | 0.02 446 1 | 1.16 8 | 0.03 422 4 | 1.38 57 | 0.04 313 5 | 1.55 91 | 0.05 576 6 | 1.77 56 | 0.06 702 7 | 1.94 89 |
| 0.108 | 0.00 595 1 | 0.65 49 | 0.00 826 6 | 0.77 61 | 0.01 039 1 | 0.87 31 | 0.01 338 2 | 0.99 14 | 0.01 603 7 | 1.09 15 |
| 0.162 | 0.00 085 23 | 0.29 11 | 0.00 117 16 | 0.34 49 | 0.00 146 02 | 1.38 81 | 0.00 186 81 | 0.44 20 | 0.00 225 43 | 0.48 52 |
| 0.216 | 0.00 022 63 | 0.16 37 | 0.00 030 51 | 0.19 40 | 0.00 037 70 | 0.21 82 | 0.00 047 98 | 0.24 86 | 0.00 056 85 | 0.27 29 |
| 0.25 | 0.00 011 76 | 0.12 22 | 0.00 015 76 | 0.14 48 | 0.00 019 4 | 0.16 29 | 0.00 025 28 | 0.18 96 | 0.00 028 8 | 0.20 38 |
| 0.30 | 0.00 005 33 | 0.08 49 | 0.00 007 05 | 0.10 06 | 0.00 008 53 | 0.11 32 | 0.00 010 67 | 0.12 89 | 0.00 012 66 | 0.14 15 |
| 0.35 | 0.00 002 77 | 0.06 23 | 0.00 003 63 | 0.07 39 | 0.00 004 39 | 0.08 31 | 0.00 005 49 | 0.09 47 | 0.00 006 35 | 0.10 39 |
| 0.40 | 0.00 001 62 | 0.04 77 | 0.00 002 06 | 0.05 65 | 0.00 002 54 | 0.06 36 | 0.00 003 04 | 0.07 25 | 0.00 003 57 | 0.07 96 |
| 0.45 | 0.00 010 66 | 0.03 77 | 0.00 001 333 | 0.04 47 | 0.00 001 511 | 0.05 03 | 0.00 001 888 | 0.05 72 | 0.00 002 199 | 0.06 29 |
| 0.50 | 0.00 000 68 | 0.03 06 | 0.00 000 88 | 0.03 62 | 0.00 001 072 | 0.04 07 | 0.00 001 232 | 0.04 62 | 0.00 001 403 | 0.05 09 |
| 0.60 | 0.00 000 353 | 0.02 118 | 0.00 000 433 | 0.02 513 | 0.00 000 493 | 0.02 821 | 0.00 000 583 | 0.03 176 | 0.00 000 687 | 0.03 465 |

| DIAMÈTRE. | Volume 15.108 = 68 P | | Volume 19.993 = 90 P | | Volume 24.883 = 112 P | | Volume 30.215 = 136 P | | Volume 35.103 = 158 P | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. |
| 0.021 | 0.1 521 753 | 2.9 450 | » | » | » | » | » | » | » | » |
| 0.293 | 0 0 361 311 | 1.6 493 | 0.0 628 52 | 2 1 829 | 0.09 689 11 | 2.7 165 | » | » | » | » |
| 0.382 | 0 0 059 331 | 0.7 330 | 0.0 085 08 | 0.9 701 | 0.01 304 49 | 1.2 072 | 0.00 191 081 | 1.4 060 | 0.02 557 77 | 1.7 032 |
| 0.216 | 0.0 012 262 | 0 4 122 | 0.0 020 961 | 0.5 457 | 0 00 320 48 | 0.6 873 | 0.00 469 83 | 0.8 287 | 0.00 622 66 | 0.9 581 |
| 0.25 | 0.0 006 128 | 0.3 078 | 0.0 010 368 | 0.4 073 | 0.00 157 28 | 0.5 069 | 0.00 228 | 0.6 155 | 0.00 304 8 | 0.7 15 |
| 0.30 | 0.0 002 624 | 0.2 138 | 0.0 004 377 | 0.2 830 | 0.00 065 65 | 0.3 522 | 0.00 094 91 | 0.4 276 | 0.00 124 | 0.4 954 |
| 0.35 | 0.0 001 292 | 0.1 570 | 0.0 002 134 | 0.2 098 | 0.00 031 78 | 0.2 587 | 0.00 045 44 | 0.3 141 | 0.00 062 3 | 0.3 649 |
| 0.40 | 0.0 000 71 | 0.1 202 | 0.0 001 158 | 0.1 591 | 0.00 017 1 | 0.1 98 | 0.00 024 3 | 0.2 405 | 0.00 031 5 | 0.2 77 |
| 0.45 | 0.0 000 426 | 0.0 950 | 0.0 000 682 | 0.1 257 | 0.00 010 052 | 0 1 565 | 0.00 014 133 | 0.1 9 | 0.00 018 551 | 0.2 207 |
| 0.50 | 0.0 000 271 | 0.0 769 | 0.0 000 429 | 0.1 018 | 0.00 006 24 | 0.1 268 | 0.00 008 736 | 0.1 54 | 0.00 001 141 | 0.1 788 |
| 0.60 | 0.0 000 127 | 0.0 534 | 0.0 000 195 | 0.0 707 | 0.00 002 827 | 0.0 88 | 0.00 003 886 | 0.1 069 | 0.00 05 | 0.1 241 |
| | Volume 39.991 = 180 P | | Volume 45.545 = 205 P | | Volume 49.988 = 225 P | | Volume 55.543 = 250 P | | Volume 59.986 = 270 P | |
| 0.162 | 0.0 331 928 | 1.94 03 | 0.0 429 457 | 2.20 96 | 0.0 515 16 | 2.425 4 | 0.0 636 111 | 2.694 7 | 0 0 740 017 | 2.910 2 |
| 0.216 | 0.0 080 274 | 1.09 15 | 0.0 103 637 | 1.24 3 | 0.0 123 366 | 1.364 6 | 0.0 153 089 | 1.515 9 | 0.0 178 077 | 1.637 2 |
| 0.25 | 0.0 039 232 | 0.81 46 | 0.0 049 856 | 0.92 78 | 0.0 060 592 | 1.018 3 | 0.0 074 418 | 1.131 5 | 0.0 086 582 | 1.222 0 |
| 0.30 | 0.0 016 181 | 0.56 60 | 0.0 020 807 | 0.64 48 | 0.0 024 849 | 0.707 4 | 0.0 030 501 | 0.786 1 | 0.0 035 187 | 0.846 1 |
| 0.35 | 0.0 007 691 | 0.41 57 | 0.0 009 862 | 0.47 34 | 0.0 011 77 | 0.519 6 | 0.0 014 393 | 0.577 3 | 0.0 016 7 | 0 623 5 |
| 0.40 | 0.0 004 08 | 0.31 83 | 0.0 005 207 | 0.36 24 | 0.0 006 204 | 0.397 8 | 0.6 007 567 | 0.442 0 | 0.0 008 77 | 0.477 4 |
| 0.45 | 0.0 002 354 | 0.25 21 | 0.0 002 965 | 0.28 637 | 0.0 003 534 | 0.314 31 | 0.0 004 307 | 0.349 235 | 0.0 004 983 | 0.377 172 |
| 0.50 | 0.0 001 443 | 0.20 367 | 0.0 001 835 | 0 23 297 | 0.0 002 134 | 0.253 118 | 0.0 002 539 | 0.278 303 | 0.0 003 012 | 0.305 501 |
| 0.60 | 0.0 000 627 | 0.14 14 | 0.0 000 788 | 0.16 108 | 0.0 000 932 | 0.176 796 | 0.0 001 12 | 0.196 441 | 0.0 001 282 | 0.212 16 |
| | Volume 65.54 = 295 P | | Volume 69.984 = 315 P | | Volume 75.538 = 340 P | | Volume 79.981 = 360 P | | Volume 85.536 = 385 P | |
| 0.216 | 0.021 215 | 1.78 9 | 0.024 165 | 1.91 1 | 0.028 083 | 2.06 2 | 0.031 462 | 2.18 4 | 0.035 912 | 2.33 5 |
| 0.25 | 0.010 301 | 1.33 51 | 0.011 719 | 1.42 56 | 0 013 618 | 1.53 86 | 0.015 237 | 1.62 929 | 0.017 392 | 1.74 244 |
| 0.30 | 0.004 204 | 0.92 754 | 0.004 78 | 0.99 042 | 0.005 552 | 1 06 902 | 0.006 212 | 1.13 190 | 0.007 079 | 1.21 05 |
| 0.35 | 0.001 983 | 0.68 12 | 0.002 25 | 0.72 74 | 0.002 608 | 0.78 513 | 0.002 913 | 0.83 135 | 0.003 314 | 0.88 81 |
| 0 40 | 0.001 048 | 0.52 155 | 0.001 177 | 0.55 691 | 0.001 362 | 0.60 111 | 0.001 519 | 0.63 647 | 0.001 738 | 0.68 067 |
| 0.45 | 0.000 589 | 0.41 209 | 0.000 667 | 0.44 005 | 0.000 772 | 0.47 5 | 0.000 86 | 0.50 296 | 0.000 979 | 0.53 791 |
| 0.50 | 0.000 357 | 0.33 379 | 0.000 402 | 0.35 643 | 0.000 466 | 0.38 473 | 0.000 518 | 0.40 737 | 0.000 59 | 0.43 567 |
| 0.60 | 0.000 152 | 0.23 18 | 0.000 17 | 0.24 752 | 0.000 196 | 0.26 717 | 0.000 219 | 0.28 289 | 0.000 246 | 0.30 254 |

| DIAMÈTRE. | Volume 89.979 = 405 P | | Volume 95.534 = 430 P | | Volume 99.977 = 450 P | | Volume 109.975 = 495 P | | Volume 119.973 = 540 P | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. | CHARGE. | VITESSE. |
| 0.216 | 0.397 22 | 2.457 | 0.044 702 | 2.608 | 0.048 942 | 2.73 | » | » | » | » |
| 0.25 | 0.019 23 | 1.832 96 | 0.021 641 | 1.946 11 | 0.023 663 | 2.036 63 | 0.028 579 2 | 2.240 3 | 0.033 96 | 2.443 9 |
| 0.30 | 0.007 819 | 0.273 38 | 0.008 8 | 1.351 98 | 0.009 624 | 1.414 86 | 0.011 602 7 | 1.556 4 | 0.013 780 1 | 1.697 9 |
| 0.35 | 0.003 656 | 9.934 3 | 0.004 113 | 0.992 05 | 0.004 494 | 1.038 25 | 0.005 426 7 | 1.143 1 | 0.006 436 1 | 1.246 96 |
| 0.40 | 0.001 91 | 0.716 03 | 0.002 143 | 0.760 23 | 0.002 339 | 0.795 59 | 0.002 818 | 0.875 2 | 0.003 342 | 0.954 72 |
| 0.45 | 0.001 078 | 0.565 87 | 0.001 211 | 0.600 82 | 0.001 321 | 0.628 78 | 0.001 584 8 | 0.691 5 | 0.001 876 | 0.754 4 |
| 0.50 | 0.000 648 | 0.458 31 | 0.000 728 | 0.486 61 | 0.000 792 | 0.509 25 | 0.000 951 2 | 0.560 1 | 0.001 121 6 | 0.610 5 |
| 0.60 | 0.000 271 | 0.318 26 | 0.000 304 | 0.337 91 | 0.000 33 | 0.353 63 | 0.000 396 1 | 0.389 | 0.000 466 | 0.424 3 |
| | Volume 131.081 = 590 P | | Volume 139.967 = 630 P | | Volume 151.076 = 680 P | | Volume 159.963 = 720 P | | Volume 171.071 = 770 P | |
| 0.25 | 0.040 464 | 2.670 2 | 0.046 081 8 | 2.851 2 | » | » | » | » | » | » |
| 0.30 | 0.016 407 3 | 1.855 04 | 0.018 68 | 1.980 8 | 0.021 719 7 | 2.138 | 0.024 324 | 2.263 83 | 0.277 76 | 2.421 03 |
| 0.35 | 0.007 653 | 1.362 44 | 0.008 737 1 | 1.454 8 | 0.010 121 1 | 1.570 27 | 0.011 336 5 | 1.662 63 | 0.129 346 | 1.778 08 |
| 0.45 | 0.003 969 5 | 1.043 14 | 0.004 515 | 1.113 86 | 0.005 240 2 | 1.202 26 | 0.005 864 3 | 0.272 98 | 0.006 686 7 | 1.361 38 |
| 0.41 | 0.002 228 9 | 0.824 2 | 0.002 532 4 | 0.880 08 | 0.002 940 4 | 0.949 92 | 0.003 288 2 | 1.005 8 | 0.003 749 8 | 1.075 65 |
| 0.50 | 0.001 331 7 | 0.666 69 | 0.001 511 4 | 0.712 33 | 0.001 754 | 0.769 4 | 0.001 963 6 | 0.814 64 | 0.002 234 6 | 0.871 19 |
| 0.60 | 0.000 553 7 | 0.463 61 | 0.000 626 | 0.493 05 | 0.000 723 7 | 0.534 33 | 0.000 809 | 0.565 77 | 0.000 92 | 0.605 07 |
| | Volume 182.179 = 820 P | | Volume 191.066 = 860 P | | Volume 199.953 = 900 P | | Volume 235.500 = 1060 P | | Volume 266.604 = 1200 P | |
| 0.30 | 0.031 451 8 | 2.578 23 | 0.034 576 | 2.703 99 | 0.037 842 6 | 2.829 75 | » | » | » | » |
| 0.35 | 0.014 637 6 | 1.893 85 | 0.016 091 | 1.985 92 | 0.017 508 4 | 2.078 29 | 0.024 336 | 2.447 73 | 0.031 11 | 2.770 39 |
| 0.40 | 0.007 573 | 1.449 78 | 0.008 31 | 1.520 5 | 0.009 091 3 | 1.591 22 | 0.012 555 | 1.874 07 | 0.016 050 | 2.121 66 |
| 0.45 | 0.004 242 3 | 1.145 97 | 0.004 650 3 | 1.201 37 | 0.005 084 7 | 1.257 24 | 0.007 111 | 1.490 76 | 0.008 953 | 1.676 34 |
| 0.50 | 0.002 527 9 | 0.927 82 | 0.002 772 8 | 0.973 08 | 0.003 028 5 | 1.018 34 | 0.004 172 | 1.199 38 | 0.005 326 | 1.357 79 |
| 0.60 | 0.001 037 2 | 0.644 33 | 0.001 130 3 | 0.675 73 | 0.001 242 4 | 0.707 13 | 0.001 707 | 0.833 | 0.002 173 | 0.943 04 |

# ÉLECTRICITÉ

## Unités dont on se sert pour les mesures électriques.

### I. — *Unités absolues.*

Les unités absolues ou C. G. S. (centimètre-gramme-seconde) sont :

1. *Unité de longueur*, 1 centimètre.

2. *Unité de temps*, 1 seconde.

3. *Unité de force.* L'unité de force est la force qui, agissant pendant une seconde sur une masse librement mobile du poids de 1 gramme, communique à cette masse une vitesse de 1 centimètre par seconde.

4. *L'unité de travail* est le travail accompli par l'unité de force parcourant une distance de 1 centimètre. Cette unité, à Paris, est égale à 0 centimètre-gramme, 001 019 15. En d'autres termes, il faut 980,868 unités de force pour élever d'un centimètre le poids d'un gramme.

5. *L'unité de quantité électrique* est la quantité d'électricité qui, agissant sur une égale quantité, éloignée de 1 centimètre, exerce une force égale à l'unité de force.

6. *L'unite de potentiel ou de force électromotrice* existe entre deux points, quant l'unité de quantité électrique, dans son mouvement d'un point à un autre, a besoin de l'unité de force pour surmonter la répulsion électrique.

7. *L'unité de résistance* est l'unité qui ne permet qu'à une unité de quantité de franchir en une seconde deux points entre lesquels existe l'unité de potentiel.

### II. — *Unités pratiques.*

Les unités, dites *pratiques*, des mesures électriques, sont:

1. Le weber, unité de quantité magnétique = $10^8$ unités C. G. S..

2. L'ohm[1], unité de résistance $= 10^9$ unités C. G. S.
3. Le volt[2], unité de force électromotrice $= 10^8$ unités C. G. S.
4. L'ampère[3], unité d'intensité $= 10^1$ unités C. G. S.
5. Le coulomb[4], unité de quantité $= 10^1$ —
6. Le watt[5], unité de force $= 10^7$ —
7. Le farad, unité de capacité $= 10^9$ —

**Unités de resistance**

| Nom de l'unité | C. S. I. | Ohm | Siemens | Lieue d'Allemagne fil de fer 4mm | Lieue de France fil de fer 7mm | Lieue Anglaise fil de cuivre 7-6mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C. S. I..... | 1 | 10,9 | $1,05,10^{-9}$ | $18,12^{-12}$ | $105,10^{-12}$ | $74,10^{-12}$ |
| Ohm..... | $10^9$ | 1 | 1,05 | 0,018 | 0,105 | 0,074 |
| Sidmens..... | $95,10^7$ | 0,95 | 1 | 0,017 | 0,1 | 0,071 |
| Lieue d'Allemagne..... | $57,10^9$ | 57 | 60 | 1 | 6 | 4,26 |
| Lieue de France. | $95,10^5$ | 9,0 | 10 | 0,17 | 1 | 0,71 |
| Mille anglais .... | $13414,10^6$ | 13,414 | 14,12 | 0,245 | 1,41 | 1 |

Voir *Aide-Mémoire de l'Ingénieur-Electricien*, par MM. Duché, Marinowitch, Szarvady et Juppont, 3e édition augmentée par P. Juppont. — B. Tignol, éditeur,

1. 1 ohm est égal à 1,093 unités Siemens et à peu près égal à la résistance de 48m de fil de cuivre pur, d'un diamètre de 1 millim., à une température de 0°.
2. Un volt est inférieur de 5 à 10 0/0 à la force électromotrice d'un élément Daniell.
3. Le courant qui, sous l'influence d'une force électromotrice de 1 volt, est capable de traverser en une seconde l'unité de résistance, est égal à 1 ampère.
4. On appelle coulomb la quantité d'électricité qui donne 1 ampère par seconde.
5. Un watt = ampère × volt.

Un *horse power* ou cheval-vapeur anglais

$$= \frac{\text{ampère} \times \text{volt}}{746}.$$

$$\text{Un cheval-vapeur} = \frac{\text{ampère} \times \text{volt}}{735}.$$

**Unités de courant**

| Nom de l'unité | C. S. I. | AMP. | Daniell-Siemens | Jacobi par minute | Argent *mg* par minute | Cuivre *mg* par minute |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C. G. S. | 1 | 10 | 8,5 | 105,2 | 676,5 | 198,6 |
| Ampère | 0,1 | 1 | 0,85 | 10,52 | 67,65 | 19.86 |
| Daniell-Siemens | 0,117 | 1,17 | 1 | 12,31 | 78,95 | 23.23 |
| Jacobi | 0,958 | 0,095 | 0,082 | 1 | 6,4 | 1,89 |
| Argent *mg* | 0,148 | 0,015 | 0,013 | 0,156 | 1 | 0,29 |
| Cuivre *mg* | 0,502 | 0,05 | 0,043 | 0,529 | 3,41 | 1 |

Les unités centimètre-gramme seconde (C. G. S.), proposées par Thomson et admises par le Congrès, ne sont pas les seules dont on fasse usage : on se sert encore des unités mètre-gramme-seconde (M. G. S.) employées par la *British Association* (B. A.) et des unités milligramme-millimètre-seconde (M. M. S.) indiquées par Gauss-Weber. Je donne ci-dessous un tableau d'ensemble qui comprend même des sous-divisions.

| | C. G. S. | M.G.S. | M.M.S. | Unités arbitraires |
|---|---|---|---|---|
| Mégohm | $10^{-15}$ | $10^{-13}$ | $10^{-16}$ | 1,0493 unités Siemens |
| Ohm | $10^{9}$ | $10^{7}$ | $10^{-10}$ | |
| Microhm | $10^{3}$ | $10$ | $10^{-4}$ | |
| Mégavolt | $10^{14}$ | $10^{11}$ | $10^{17}$ | |
| Volt | $10^{8}$ | $10^{5}$ | $10^{11}$ | 0,9 unités D. |
| Microvolt | $10^{2}$ | $10^{-1}$ | $10^{4}$ | |
| Mégoompère | $10^{5}$ | $10^{-4}$ | $10^{7}$ | |
| Ampère coulomb par seconde | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10$ | |
| Microampère | $10^{-7}$ | $10^{-8}$ | $10^{-5}$ | 10,52 unités Jacobi. |
| Farad | $10^{-9}$ | $10^{-7}$ | $10^{-10}$ | |
| Microfarad | $10^{-15}$ | $10^{-13}$ | $10^{16}$ | |

## Piles hydro-électriques.

*Constantes d'une pile.* — Les constantes d'une pile sont sa force électromotrice et sa résistance intérieure. La force électromotrice ne dépend que des réactions chimiques qui prennent naissance dans la pile ; elle est proportionnelle à la somme algébrique des chaleurs de combinaison correspondant aux réactions chimiques. La résistance intérieure dépend de la résistance spécifique des corps constitutifs, de leur disposition et de la surface des électrodes.

*Polarisation.* — Lorsqu'on ferme le circuit de certaines piles sur une résistance extérieure constante on observe un affaiblissement rapide du courant. Ce phénomène est dû à une modification des éléments de la pile qui a pour effet d'augmenter la résistance intérieure d'une part, et d'autre part de donner naissance à des réactions secondaires qui diminuent la force électromotrice ; on a donné le nom de polarisation à ce phénomène.

| Noms | Électrode négative | Liquide excitateur | Diaphragme | Électrode positive | Dépolarisant | F. E. M. à circuit ouvert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volta | Zinc | 1 ac. sulfurique; 10 eau. | Pile à 1 seul liquide | Cuivre | Pas de dépolarisant | 0,4 à 0,8 |
| Smée | » | 1 ac. sulfurique; 7 eau. | » | Argent platiné | » | 0,4 à 1 |
| Walker | » | » | » | Charbon platiné | » | 0,5 à 1 |
| Pile Suisse | » | Sol. saturée de sel marin. | » | Charbon | » | » |
| Maiche | Zinc amalgamé | Solution de sel ammoniac | » | Charbon platiné | » | 1,25 |
| Becquerel | Zinc | Sol. d'azotate de zinc | Baudruche | Cuivre | Sol. saturée d'azotate de cuivre | 0,99 |
| Daniel | Zinc amalgamé | 1 ac. sulfurique; 7 1/2 eau. | Vase poreux | » | Sol. saturée de sulfate de cuivre | 1,07 |
| » | » | 1 ac sulfurique; 22 eau. | » | » | » | 0,97 |
| » | » | » | » | » | Sol. saturée d'azotate de cuivre | 0,99 |
| » | » | » | » | » | Sol. étendue de sulfate de cuivre | 0,90 |
| » | » | Sol. saturée de sulfate de zinc. | » | » | Sol. saturée de sulfate de cuivre | 1,07 |
| Pile à ballon | » | Ac. sulf., 20 eau. | » | » | » | » |
| Siemens | » | Sol. étendue de sulfate de zinc. | Pâte de papier | » | » | » |

| Noms | Électrode négative | Liquide excitateur | Diaphragme | Électrode positive | Dépolarisant | F. E. M. à circuit ouvert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Minotto | Zinc amalgamé | Sol. étendue de sulfate de zinc. | Pâte de papier, sciure de bois ou sable. | Cuivre | Sol. saturée de sulfate de cuivre | 1,07 |
| Callaud | » | 1 sol. saturée de sulfate de zinc, 9 eau. | Différence de densité des liquides | » | » | » |
| Meidinger | » | Sol. de sulfate de magnésie. | » | » | » | » |
| Thomson | » | Sol. de sulfate de zinc (densité 1, 1). | » | » | » | 1,07 |
| Reynier | » | 30 soude caustique; 70 eau. | Papier parchemin | » | Sol. acide de sulfate de cuivre | 1,50 |
| Marié Davy | » | 1 ac. sulfurique; 20 eau. | Vase poreux | Charbon | Pâte de sulfate de Mercure | 1,51 |
| Grove | » | 1 ac. sulfurique; 7 1/2 eau. | Vase poreux | Platine | Ac. azotique fumant | 1,95 |
| » | » | Sol. de sel marin. | » | » | Ac. azotique (dens. 1,33) | 1,89 |
| » | » | 1 ac. sulfurique; 22 eau. | » | » | » | 1,80 |
| » | » | Sol. de sulfate de zinc. | » | » | » | 1,66 |

| Noms | Électrode négative | Liquide excitateur | Diaphragme | Electrode positive | Dépolarisant | F.E.M. à circuit ouvert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bunsen | » | 1 ac. sulfurique, 20 eau. | » | Charbon | Ac. azotique (dens. 1,33 à 1,38) | 1,72 |
| D'Arsonval | » | 1 ac. sulfurique, 1 ac. chlorhydrique; 20 eau. | » | » | 1 ac. azotique (dens. 1,33); 1 ac. chlorhydrique, 2 eau; ac. sulfurique à 5 0/0 | 2,20 |
| Cal'on | » | 1 ac. sulfurique; 20 eau. | » | Fonte | Ac. azotique (dens. 1,38) | 1,68 |
| Lacombe | zinc amalgamé | 1 ac. sulfurique; 20 eau. | Vase poreux | Charbon | Chlorate de potasse et ac. sulfurique | 2 |
| Duchemin | Zinc | 25 sel marin; 75 eau. | » | Charbon | Perchlorure de fer | 1,54 |
| Poggendorff | Zinc amalgamé | 1 ac. sulfurique; 20 eau. | » | Charbon | 100 g. bichromate de potasse, 50 g. ac. sulf., 1 l. eau | 1,80 |
| Fuller | » | Eau. | » | » | Bichromate de potasse dissous dans eau ac. sulf. à 1/10 | » |

| Noms | Électrode négative | Liquide excitateur | Diaphragme | Électrode positive | Dépolarisant | F.E.M. à circuit ouvert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| d'Arsonval | » | Eau. | » | » | 1 vol. sol. sat. à froid de bichr. de pot., 1 vol., ac. chlorhyd. ord. | » |
| Byrne | » | 1 ac. sulfurique; 20 eau. | » | Platine platiné | Sol. de bichr. de pot. dans eau ac. sulfurique | » |
| Sullivan | » | » | » | Charbon | 380 g. ac chromique, 220 cm³ ac. sulf. 750 g. eau | 1,90 |
| Thame | » | » | » | » | Chlorure de chrom. et ac. azotique | 1,98 |
| Delaurier | » | Le zinc plongé dans le liquide dépolarisant. | Pas de diaphragme | » | 184 g. bichromate de potasse, 428 g. ac. sulf., 2 l. eau | 1,90 |
| Trouvé | » | d° | d° | » | 100 bichromate de potasse, 300 ac. sulf., 600 eau | 1,90 |
| De la Rive | » | 1 ac. sulfurique; 10 eau. | Vase poreux | Platine | Bioxyde de plomb. | |

| Noms | Électrode négative | Liquide excitateur | Diaphragme | Électrode positive | Dépolarisant | F E.M. à circuit ouvert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Leclanché | » | Sol. de sel ammoniac (dens. 1,07) | Pas de diaphragme | Charbon | Bioxyde de Manganèse | 1,48 |
| Howel | » | 25 gr. sulfate d'ammoniaque; 1 l. eau. | Vase poreux | Charbon+$MNO^2$ +$SO^4$ Mn | 1 ac. sulfur., 5 eau | 2 |
| Warren de la Rue | Zinc | 25 gr. sel ammoniac; 1 litre eau. | Papier parcheminé | Argent | Chlorure d'argent fondu | 1,05 |
| Skrivanow | » | 75 potasse caustique; 25 eau. | » | » | Chlorure d'argent précipité | 1,45 |
| Lalande et Chaperon | » | 30 potasse caustique; 70 eau | Pas de diaphragme | Fer | Bioxyde de cuivre | 0,90 |
| Niaudet | Zinc amalgamé | Sol. de sel marin. | Vase poreux | Charbon | Hypochlorite de chaux. | 1,55 |
| Upward | Zinc | Sol. de chlorure de zinc. | Pas de diaphragme | Charbon | Courant de chlore gazeux | 2 |

## Accumulateurs.

Les accumulateurs ou piles secondaires sont des appareils fondés sur le principe de la réversibilité des actions électrochimiques. Certaines décompositions chimiques, opérées par le passage du courant, sont susceptibles de se reproduire en sens inverse en donnant naissance à un courant. En vertu de la loi de la conservation de l'énergie, l'énergie électrique absorbée par la réaction primaire est encore restituée par la réaction secondaire. L'accumulateur est donc une pile régénérable.

C'est M. Planté (1860) qui observa le premier les réactions électrochimiques de la décomposition de l'eau acidulée sur les électrodes de plomb, et montra le parti pratique que l'on en pouvait tirer. Actuellement, les divers types d'accumulateurs, tous basés sur les mêmes réactions électrochimiques, peuvent se distinguer en deux genres :

Planté et Faure.

Les principaux accumulateurs sont :

L'accumulateur Planté,
— Régnier,
— de Montaud,
— Faure,
— Faure-Sellon-Volckmar,
— Philippart,
— Julien,
— Gadot,
— de l'Electrical Power Storage Co,
— au cuivre Commelin-Desmazures et Bailhache.

*Tableau des essais faits sur une batterie d'accumulateurs Farbaki-Schoneck.*

régime { Courant de décharge 1 à 30 ampères / » charge 20 à 25 « } Capacité 240 ampères-heures.

| Heures | Force électromotrice | | Différence de potentiel aux bornes | | Intensité | Quantité | | Résistance | | Densité de l'eau acidulée | Baisse de potentiel | Résistance du circuit extérieur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | totale | par élément | totale | par élément | I | I × Δ t | totale | totale | par élément | | | |
| | Volts | | Volts | | Ampères | Ampères-heures | | Ohms | | | % | |
| 12h,30' | 64,12 | 2,14 | 61,8 | 2,06 | 30,8 | » | » | 0,0850 | 0,0088 | 1,27 | | 40 lampes Edison américaines |
| 1 | 63,25 | 2,11 | 61,75 | 2,06 | 30,8 | 15,4 | 15,4 | 0,0487 | 0,0016 | 1,27 | | » » |
| 1 ,30' | 63,15 | 2,10 | 61.67 | 2,05 | 30.8 | 15,4 | 30,8 | 0,0481 | 0.0016 | 1,27 | | » » |
| 1 ,30 | 63,15 | 2,10 | 61,52 | 2,05 | 35,1 | | 30,8 | 0,0481 | 0,0016 | 1,27 | | 45 » |
| 2 ,30 | 62,82 | 2,09 | 61,25 | 5,04 | 34.8 | 35 | 65,8 | 0.0451 | 0,0015 | 1,265 | | » » |
| 3 ,30 | 62,45 | 2,08 | 60.85 | 2,03 | 34,6 | 34,7 | 100,5 | 0.04[illegible]2 | 0,0015 | 1,26 | | » » |
| ,30 | 62,15 | 2.07 | 60,50 | 2.02 | 34,4 | 34,5 | 134,8 | 0,0480 | 0,0016 | 1,25 | | » » |
| ,30 | 61,82 | 2,06 | 60,00 | 2,00 | 34,0 | 34,2 | 169.0 | 0,0535 | 0,0 18 | 1,24 | 3 % | » » |
| .30 | 61,25 | 2,04 | 59,50 | 1,98 | 33,5 | 33,7 | 202,7 | 0,0522 | 0.0017 | 1,235 | 3,5 % | » » |
| 7 ,30 | 60,82 | 2,03 | 58,88 | 1,96 | 33,2 | 33,3 | 236,0 | 0,0584 | 0,0019 | 1,225 | 5 % | » » |

## Transformateurs

Le principe des transformateurs à courants alternatifs est le même que celui de la bobine de Ruhmkorff. Un transformateur est donc un appareil d'induction. Il se compose de deux circuits : le circuit inducteur ou *primaire*, et le circuit induit ou *secondaire*.

Dans les transformateurs industriels, on se propose un résultat inverse de celui obtenu avec la bobine Ruhmkorff, c'est-à-dire qu'on fournit au circuit primaire des courants de faible intensité et de force électromotrice élevée pour recueillir aux bornes secondaires des courants intenses avec une force électromotrice moindre.

Les principaux transformateurs sont du système Gaulard et Gibbs, ou Zipernowski, Déry et Blathy.

### Essai d'un transformateur de 10 lampes.
(MM. Ryan et Merrit. — 1890).

| | |
|---|---|
| Force électromotrice du primaire..... | 1020 volts |
| Alternances..... | 138 |
| Induction à circuit ouvert par cent.$^2$.... | 3850 CFS |
| Tôle ayant une épaisseur de..... | 0$^{mm}$5 |
| Section moyenne du circuit magnétique.. | 63,3$^{cm2}$ |
| Largeur moyenne du circuit magnétique. | 30,8$^{cm}$ |

| Conditions de l'expérience | F. E. M. secondaire | Watt primaire | Watt secondaire | Rendement | Perte totale en watts | Perte pour l'hystérisis | Perte par échauffement du fil | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | primaire | secondaire |
| Secondaire ouvert..... | 5,23 | 96,1 | 0,0 | 0,0 | 96,1 | 95,7 | 0,4 | 0,0 |
| 1 lampe allumée. | 5,23 | 159,1 | 64,3 | 41,1 | 94,8 | 93,9 | 0,9 | 0,0 |
| 5 lampes allumées..... | 5,01 | 388,6 | 300,9 | 77,5 | 87,7 | 83,1 | 3,3 | 1,3 |
| 10 lampes allumées..... | 4,75 | 607,9 | 525 | 86,6 | 82,9 | 69,7 | 8,7 | 4,5 |

(**Transformateur** *Westinghouse*) (8000 périodes).

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de lampes..... | | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Diamètre du fil | primaire... | 0,56 | 0,77 | 1,14 | 1,44 | 1,65 |
| | secondaire. | 3,17 | 4,30 | 4,30 | 4,70 | 4,70 |
| Nombre de tours | primaire... | 900 | 700 | 560 | 480 | 400 |
| | secondaire. | 45 | 35 | 28 | 24 | 20 |
| Résistance | primaire... | 48 | 21,9 | 9,9 | 7 | 5 |
| | secondaire. | 0,04 | 0,043 | 0,0197 | 0,0176 | 0,0107 |
| Poids total en kilogr..... | | 25 | 27 | 45 | — | 72 |

Les tôles ont 0mm15 isolées au papier de 0mm006.

Dans le transformateur de 40 lampes il entre 1350 feuilles.

M. Cross a fait des essais sur le transformateur de ce système :

Pour une charge de 20 ampères 50 volts, rendement 93,9 0/0.

Pour une charge de 25 ampères 50 volts, rendement 93 0/0.

Alternances 258 par seconde.

## Eclairage électrique

---

### Renseignements généraux.

Pour obtenir une bonne répartition de la lumière, il ne faut pas qu'une lampe à incandescence de 16 bougies éclaire plus de :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8,00 | mètres carrés | lorsqu'elle est à | 2m,00 | de hauteur. |
| 7,00 | — | — | 2 ,00 | — |
| 6,20 | — | — | 3 ,50 | — |
| 6,00 | — | — | 3 ,50 | — |
| 5,80 | — | — | 4 ,00 | — |
| 5,60 | — | — | 4 ,50 | — |
| 5,40 | — | — | 5 ,50 | — |
| 5,25 | — | — | 6 ,00 | — |

*Intensité lumineuse de divers éclairages.*

| | | |
|---|---|---|
| La rue Royale à Paris ..... | 0,16 | carcel par m² |
| Place de l'Opéra..... | 0,072 | — |
| L'avenue de l'Opéra..... | 0,043 | — |
| Moyenne de l'éclairage des rues de Paris | 0,005 | — |
| Palais des Machines de l'Exposition... | 2 » | — |
| Avenues et cours — ... | 0,75 | — |
| Jardins — ... | 0,10 | — |
| Massifs, pelouses..... | 0,04 | — |

H. FONTAINE.

HOTEL DE VILLE DE PARIS (Incandescence).

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Salle des fêtes..... | (1295)m² | 15,03 | p. m² | 1,223 | p. m. |
| Salle à manger .... | 300m² | 14,40 | — | 1,870 | — |
| Salon de verdure... | 165m² | 4,36 | — | 0,566 | — |
| Grands salons..... | 496m² | 15,24 | — | 1,979 | — |
| Galerie latérale.... | 257,6m² | 6,97 | — | 0,913 | — |
| Salon réservé..... | 165 | 4,36 | — | 0,566 | — |

THÉATRES

| | | | |
|---|---|---|---|
| Odéon..... | 350 | 7,06 | 0,44 |
| Gaîté..... | 250 | 9,44 | 0,55 |
| Comédie-Française. | 240 | 9,75 | 0,67 |
| Palais-Royal..... | 90 | 21,10 | 0,98 |
| Porte Saint-Martin. | 200 | 16,00 | 0,98 |
| Renaissance ..... | 96 | 20,52 | 1,40 |

MASCART.

***Rendement des lampes à arc*** (Mesures officielles de l'Exposition d'électricité de Vienne).

| Indication des lampes | Nature et diamètre des charbons | Régime normal indiqué en ampères | Intensité lumineuse en carcels | | | Intensité du courant en ampères | Différence de potentiels aux bornes | Puissance dépens. dans l'arc en watts | Puissance en watts par carcel | Nombre de carcels par cheval | Moyen. sphér. relat. $\frac{S}{M}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | horizontale H | maximum M | moyenne sphérique S | | | | | | d'après le diagramme | d'après $\frac{M}{4}+\frac{H}{2}$ |
| Dulait..... | Siemens 16/16.... | 15 | 72,8 | 423 | 137 | 14,6 | 47 | 686 | 5,00 | 146 | 0,326 | 0,336 |
| Gramme ..... | Siemens 16/16.... | 16 | 72,5 | 471 | 166 | 15,9 | 46,2 | 735 | 4,43 | 176 | 0,352 | 0,327 |
| Gramme ..... | Siemens 16/16.... | 16 | 53,7 | 265 | 96,4 | 12,5 | 47,3 | 561 | 6,13 | 120 | 0,364 | 0,352 |
| Gramme ..... | Siemens 16/16.... | 6 | 22,4 | 145,4 | 48,1 | 5,6 | 46,2 | 259 | 5,38 | 137 | 0,331 | 0,327 |
| Gramme ..... | Siemens 10/6..... | 4 | 5,7 | 107 | 32,6 | 3,64 | 46,4 | 169 | 5,18 | 142 | 0,304 | 0,273 |
| Gramme ..... | Siemens ..... | 13 | 95,5 | 235 | 119,8 | 12,9 | 45,5 | 587 | 4,92 | 149 | 0,450 | 0,430 |
| Gulcher ..... | Siemens 16/16.... | 16 | 93,8 | 323 | 128 | 15,1 | 41,2 | 622 | 4,86 | 151 | 0,396 | 0,395 |
| Jaspar ..... | Siemens 14/14.... | 20 | 102,4 | 537 | 198 | 2,07 | 47,5 | 983 | 4,96 | 148 | 0,355 | 0,342 |
| Crompton. ... | Siemens 13/13.... | 15 | 60 | 373 | 132 | 14,9 | 47,7 | 711 | 5,38 | 137 | 0,354 | 0,329 |
| Brush ..... | Brush 14/14..... | 20 | 192 | 522 | 192 | 19 | 50,6 | 931 | 5,00 | 147 | 0,367 | 0,347 |
| Brush ..... | Brush 11/11..... | 10 | 37,2 | 253 | 63,3 | 9,9 | 47,3 | 468 | 6,85 | 107 | 0,270 | 0,323 |
| Brush à 2 charb. | Brush 11/11..... | 9 | 31,9 | 102,3 | 34,8 | 6,0 | 47,1 | 282,0 | 8,12 | 91 | 0,340 | 0,406 |
| Pieper..... | Siemens 11/8..... | 4 | 9,9 | 52,1 | 18,1 | 4,22 | 37,2 | 157 | 8,66 | 85 | 0,347 | 0,345 |

## § 2. — Constantes des lampes les plus usuelles.

| Nom de la lampe | Marque | Nombre de bougies normales | Intensité | Différence de potentiels aux bornes | Nombre de volt-ampères | Nombre de volt-ampères par bougie normale |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Edison..... | B | 8 | 0,81 | 48,9 | 39,6 | 4,95 |
| — | A | 10 | 0,42 | 100 | 42 | 4,2 |
| — | A | 16 | 0,74 | 92,3 | 68,3 | 4,27 |
| — | A | 16 | 0,71 | 100,4 | 71,3 | 4,46 |
| — | A | 16 | 0,66 | 106 | 70 | 4,37 |
| — | A | 32 | 1,37 | 108,9 | 149,2 | 4,66 |
| Swan... .... | $A_3$ | 16 | 1,422 | 36 | 51 | 3,2 |
| — | $A_2$ | 16 | 1,293 | 39 | 47,5 | 2,96 |
| — | $A_1$ | 18 | 1,20 | 41 | 2,5 | 2,9 |
| — | A(bis) | 18 | 1,32 | 42 | 55,5 | 3,1 |
| — | A | 18 | 1,235 | 43 | 53 | 2.95 |
| — | $B_1$ | 20 | 1,32 | 46 | 61 | 3,05 |
| — | B | 20 | 1,29 | 48 | 62 | 3,10 |
| — | C | 20 | 1,34 | 50 | 67,5 | 3,37 |
| — | D | 20 | 1,23 | 52 | 64 | 3,20 |
| — | E | 20 | 1,21 | 54 | 65,5 | 3,27 |
| — | F | 20 | 1,19 | 56 | 67 | 3,35 |
| Bernstein.... | — | 50 | 6 | 25 | 150 | 3,00 |
| — | — | 10 | 1,2 | 33 | 39,6 | 4,00 |
| — | — | 25 | 2,5 | 33 | 82,5 | 3,30 |
| — | — | 16 | 1,2 | 50 | 60,0 | 3,75 |
| — | — | 100 | 6,00 | 50 | 300,0 | 3,00 |
| — | — | 100 | 3,00 | 100 | 300,0 | 3,00 |
| — | — | 200 | 6,00 | 100 | 600.0 | 3,00 |
| Siemens et.. | IA | 5 | 0,77 | 25 | 19,3 | 4,00 |
| Halske. ..... | I | 8 | 0,55 | 50 | 27,5 | 3,40 |
| — | II | 10 | 0,39 | 100 | 39,0 | 3,90 |
| — | II | 10 | 1,54 | 65 | 35,1 | 3,50 |
| — | IV | 16 | 0,50 | 120 | 60 | 3,80 |
| — | IV | 16 | 0,53 | 100 | 53 | 3,30 |
| — | IV | 16 | 0,77 | 65 | 50 | 3,10 |
| — | IV | 16 | 1,06 | 50 | 53 | 3,30 |
| — | VI | 25 | 0,75 | 120 | 90 | 3,60 |
| — | VI | 25 | 0,77 | 100 | 77 | 3,10 |
| — | VII | 25 | 1,17 | 65 | 86 | 3,40 |
| — | VIII | 35 | 1,12 | 100 | 112 | 3,20 |
| — | X | 50 | 1,50 | 100 | 150 | 3,00 |

## Applications du transport de la force.

### *Traction électrique.*

Ce problème a reçu jusqu'à ce jour peu d'applications en France. Il est facile cependant de démontrer la supériorité de ce mode de traction sur la vapeur. Les locomotives à grande puissance consomment 3 kilogrammes de combustible par cheval et par heure; celle des tramways à vapeur 4 à 5 kilogrammes, tandis qu'une machine de grande puissance, établie à un poste fixe, consomme 1 kilogramme; en admettant que le rendement soit de 50 0/0 seulement, l'économie est en faveur de la traction électrique, sans parler des avantages inhérents à l'emploi de l'électricité : diminution du poids mort de la locomotive, absence d'incendie, d'explosion, etc.

Si l'on peut employer une chute d'eau comme puissance motrice, l'avantage est encore bien plus évident.

La traction électrique peut se faire ainsi que nous venons de le supposer :

1° En amenant le courant à une réceptrice, placée sur la locomotive et actionnant les roues de ce véhicule à l'aide de conducteurs convenablement disposés le long de la voie ferrée.

2° La voiture peut emporter avec elle l'énergie nécessaire à son fonctionnement, dans des accumulateurs placés sur le véhicule.

### *Tramways avec conducteurs longeant la voie.*

Le premier fut construit par MM. Siemens, à Berlin (1879). La dynamo recevait le courant par un rail central, le retour se faisait par la voie ferrée.

A Brighton, le tramway construit par M. Volk a les éléments suivants:

| | |
|---|---|
| Longueur de la voie | 1600 mètres |
| Pentes variant de | 0,01 à 0,06 |
| Ecartement des rails de la voie | 0m625 |
| Force électromotrice du courant | 160 volts |
| Intensité | 20 ampères |
| Poids de la voiture | 3400 kilog. |
| Nombre de voyageurs transportables | 30 |
| Vitesse moyenne à l'heure | 128000 mètres |
| Dépense par mille (voitures) | 0 fr. 20 |

Les conducteurs sont cloués sans autre précaution sur les traverses portant la voie ; le mouvement est transmis de la machine aux roues par des courroies en cuir.

Les dépenses d'exploitation étaient 55 0/0 des recettes brutes.

### *Tramways avec accumulateurs.*

Ils suppriment les inconvénients des canalisations et des contacts à frotttement, mais obligent à transporter un poids mort inutile considérable.

Des exploitations furent installées à Londres et à Bruxelles.

Les premiers essais furent faits à Paris (1883).

Ils se continuent actuellement à Paris après avoir été interrompus. La ligne a 1300 mètres, les voitures transporteut 50 voyageurs.

La réceptrice est placée sur une voiture de la Compagnie des Omnibus, et actionne l'essieu de la voiture par une transmission à corde sans fin de Raffard.

Dans la voiture type (1888 se trouvent 54 accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar pouvant débiter 25 ampères pendant six heures.

Un commutateur permet d'en modifier le groupage pour varier les allures de la voiture :

1° Au démarrage, 70 volts, groupage en dérivation.

2° On marche à 140 volts en montant deux des groupes en tension. deux à deux.

3° Trois groupes en tension. 210 volts, le quatrième groupe est en dérivation sur l'un des trois autres.

4° Pour la grande vitesse. les quatre groupes en tension. 280 volts.

La réceptrice du genre Siemens fait 100 à 1200 tours par minute.

La voiture pèse à vide 3500 kilogrammes, la batterie d'accumulateurs pèse 1500 kilogrammes et le moteur 750.

## Télégraphie.

### *Rendement des divers appareils télegraphiques.*

Pour le maniement de l'appareil à cadran, il faut compter, en pratique, un tour de manivelle par seconde, c'est-à-dire 13 émissions et 13 interruptions de courant ; on peut donc transmettre 60 lettres ou dix mots par minute, chaque mot étant compté à 5 lettres et un retour à la croix, pour indiquer la fin du mot.

*Avec l'appareil Morse,* un bon employé peut transmettre 20 mots de cinq lettres par minute, 25 au maximum ; mais, il ne faut guère compter que sur une moyenne de 12 à 18.

Le nombre de points que peut faire l'armature (800 à 2000) est l'indice de la vitesse du récepteur ; pour un trait, il faut 3 fois plus de temps que pour un point.

Pour que la lecture soit facile. la longueur des points ne doit pas excéder 3/4 de millimètre ; si l'appareil d'horlogerie déroule 1 m 50 de bande par minute, le plus grand nombre de points à 3/4 mm. qu'elle puisse contenir est de 2000.

Un employé exercé peut transmettre 25 dépêches simples, plus les indications de service, soit la valeur de 30 mots, ou 3750 lettres à l'heure.

Dans l'appareil Hughes, l'axe imprimeur tourne 7 fois plus vite que le chariot et l'axe des types. Le nombre de tours moyens de la roue des types est de 110 ou 120. la moyenne des intervalles de deux lettres consécutives est de 18.5. En un tour de chariot, on transmet donc $\frac{28}{18.5} = 154$ lettres, puisqu'il y a 28 touches, ce qui donne 185 lettres par minutes (31 mots), en supposant que le charoit fasse 120 tours.

Avec cet appareil, il est possible de transmettre 50 à 60 dépêches à l'heure.

Le télégraphe multiple imprimeur de Baudot à 4, 5 ou 6 claviers peut transmettre par chaque employé, 50 dépêches imprimées à l'heure.

## SIGNAUX DE L'APPAREIL MORSE

### Lettres

| | | | |
|---|---|---|---|
| a | — — | n | — — |
| ä | — — — — | ñ | — — — — — |
| à ou a | — — — — — | o | — — — |
| b | — — — — | ö | — — — — |
| c | — — — — | p | — — — — |
| ch | — — — — | q | — — — — |
| d | — — — | r | — — — |
| e | — | s | — — — |
| é | — — — — — | t | — |
| f | — — — — | u | — — — |
| g | — — — | ü | — — — — |
| h | — — — — | v | — — — — |
| i | — — | w | — — — |
| j | — — — — | x | — — — — |
| k | — — — | y | — — — — |
| l | — — — — | z | — — — — |
| m | — — | | |

### Chiffres

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | — — — — — | 6 | — — — — |
| 2 | — — — — — | 7 | — — — — — |
| 3 | — — — — — | 8 | — — — — — |
| 4 | — — — — | 9 | — — — — — |
| 5 | — — — — — | 0 | — — — — — |

Barre de fraction — — — — — —

Signaux de ponctuation et autres :

Point ..... (.) — — — — — —

Point et virgule..... (;) — — — — — —

Virgule..... (,) — — — — — —

Deux points ..... (:) — — — — — —

Point d'interrogation ou demande de répétition d'une transmission non comprise..... (?) — — — — — —

Point d'exclamation..... (!) — — — — — —

Apostrophe..... (') — — — — — —

Alinéa..... — — — — — —

Trait d'union ..... (-) — — — — — —
Parenthèse (avant et après les mots). ( ) — — — — — — —
Guillemets..... (») — — — — — — —
Souligné (avant et après les mots ou le membre de phrases..... — — — — — —
Signal séparant le préambule de l'adresse, l'adresse du texte et le texte de la signature ..... — — — — —

Indications de service

Télégramme d'Etat..... — — —
— de service..... — —
— privé urgent..... — — —
— privé ordinaire..... — — — —
Avis télégraphique..... — — — — —
Réponse payée..... — — — — — — —
Télégramme collationné..... ... — — — — —
Accusé de réception..... — — — — — — —
Télégramme recommandé..... — — — —
— à faire suivre..... — — — — — — —
Poste payée..... — — — — — — — —
Exprès payé..... — — — — — — — —
Appel (préliminaire de toute transmission)..... — — — — —
Compris..... — — — — —
Erreur..... — — — — — — — —
Fin de la transmission..... — — — — —
Invitation à transmettre ..... — — — — — — —
Attente..... — — — — —
Réception terminée..... — — — — — — — —

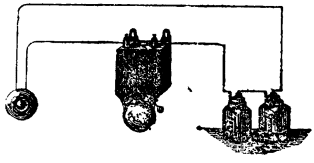
CLASSEMENT DES LETTRES DE L'ALPHABET

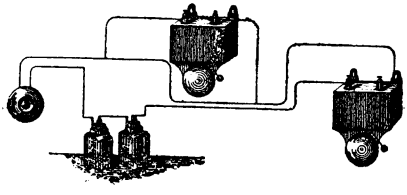
dans l'ordre ou elles se représentent le plus souvent

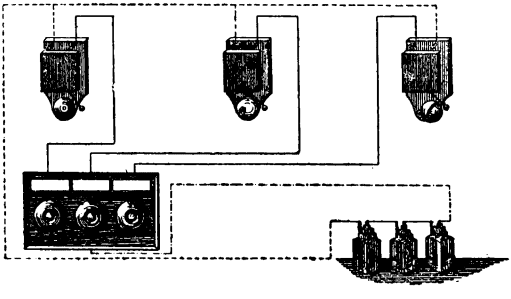
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E | 219 | U | 82 | É | 39 | X | 8 |
| R | 118 | O | 82 | V | 27 | Y | 6 |
| N | 108 | L | 69 | G | 17 | Z | 6 |
| A | 107 | D | 52 | H | 17 | J | 5 |
| S | 106 | C | 48 | F | 15 | K | |
| I | 105 | P | 46 | Q | 15 | | |
| T | 98 | M | 46 | B | 14 | | |

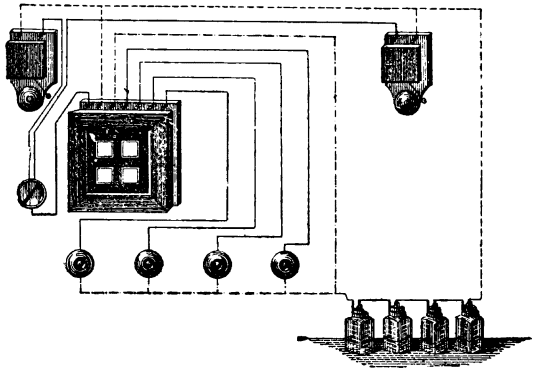
# Sonneries électriques

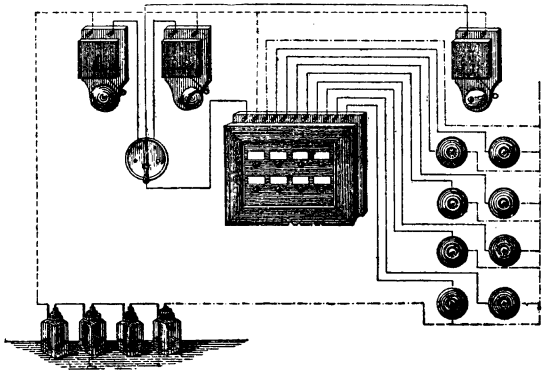
EXEMPLE DE POSES DE SONNERIES ÉLECTRIQUES

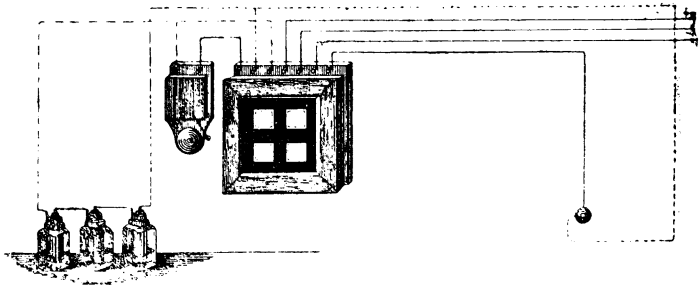


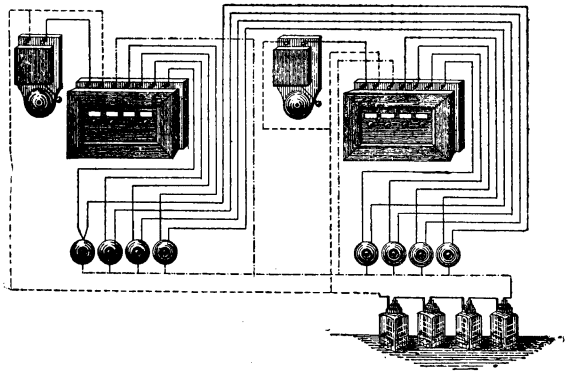


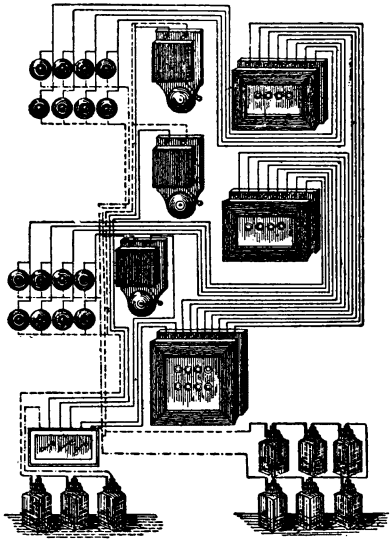












## Téléphonie. — Renseignements usuels (1)

*Conditions d'abonnements aux réseaux téléphoniques.*

Le montant annuel de *l'abonnement principal* est fixé, dans le périmètre du réseau :

A 400 francs, à Paris, et à 300 francs dans les départements pour les réseaux souterrains ; à 200 francs pour les réseaux aériens.

Il peut être fixé à 150 ou 100 francs, dans certains cas particuliers.

Il est réduit de 50 0/0 pour les services publics de l'Etat et de 25 0/0 pour les services publics des départements et des communes.

Dans les réseaux aériens, l'abonné doit, en outre, comme part dans les frais de premier établissement, une somme de 15 fr. par 100 mètres ou fraction de 100 mètres de fil simple.

En dehors du périmètre du réseau, l'abonnement principal, tel qu'il vient d'être dit, est augmenté d'un supplément d'abonnement de 30 francs par kilomètre de fil simple souterrain, et de 15 fr. par kilomètre de fil simple aérien, pour la section de ligne comprise entre le domicile de l'abonné et le périmètre du réseau urbain.

L'abonné doit, en outre, participer aux frais d'établissement de cette section de ligne, d'après le tarif adopté pour les lignes d'intérêt privé.

*L'abonnement supplémentaire* est fixé ainsi qu'il suit :

Quand le poste supplémentaire est installé dans le même immeuble que le poste principal.

à 160 francs, à Paris ;

à 120 francs dans les départements.

L'abonnement principal ou supplémentaire ne peut être consenti pour moins d'une année, calculée à partir du 1er janvier ou du 1er juillet, qui suit ladite installation. Après la première année, l'abonnement se renouvelle de trimestre en trimestre, par tacite reconduction.

(1) Voir *Téléphone et radiophone*, par G. Fournier, Librairie B. Tignol.

## Galvanoplastie.

Le but de la galvanoplastie est d'obtenir, au moyen du courant électrique un dépôt de métal sur un objet quelconque. C'est à Jacobi (1839) que l'on doit les premiers essais.

### § 1. — *Procédé du bain simple.*

Le bain électrolytique, dans ce procédé, est une des parties de l'élément voltaïque lui-même.

S'il s'agit de cuivrage, les pièces servent d'électrodes positives et le bain n'est que le liquide dépolarisant de l'élément genre Daniell fermé sur lui-même.

### § 2. — *Procédé ordinaire.*

Dans ce procédé plus généralement employé, le bain électrolytique est distinct de la source d'électricité. Il est contenu dans une cuve imperméable quelconque (caisse en bois revêtue de gutta-percha ou de plomb, vase ou poterie, etc.). Au-dessus du récipient sont disposées deux tiges métalliques : l'une supporte les objets à revêtir qui doivent être conducteurs et communiquer avec le pôle négatif de la source, l'autre est reliée au pôle positif de la source et supporte les anodes formées de plaques du même métal que celui du sel de l'électrolyte.

*Sources d'électricité.* — On emploie comme générateurs de courant électrique, les piles hydro-électriques, les piles thermo-électriques. et les machines dynamo-électriques. Les piles hydro-électriques employées seulement dans les petites installations doivent être sans polarisation, du type Daniell ou Bunsen.

Les piles thermo-électriques sont employées dans le cas où la force électromotrice est peu élevée, et conviennent à cause de la fixité de la différence de potentiel.

Pour les installations de quelque importance l'emploi des dynamos est plus économique.

Le prix de revient, relativement aux piles, baisse dans le rapport de 3,87 à 0,94. (Usine Christofle et Cie).

Les dynamos doivent être à différence de potentiel fixe; et l'excitation en dérivation ou l'excitation indépendante

sont celles qui conviennent pour éviter le renversemen-de la polarité des électros, condition également est sentielle.

Pour éviter le renversement du sens du courant, il est utile de faire usage de brise-courants.

## Nickelage

*Constitution des bains.* — Le bain doit être neutre et formé d'un sel double de nickel. La présence d'alcalis libres rend le dépôt gris et cassant ; la présence d'acide libre empêche l'adhérence.

La densité du bain doit être comprise entre 8° et 18° Baumé et sa température maintenue vers 25°.

Il existe un grand nombre de formules pour la prépation du bain. Parmi celles-ci les plus communément employées sont :

1° 1 kilo de sulfate double de nickel et d'ammoniaque pur dissous dans 10 litres d'eau chaude et filtré.

2° Dissoudre ensemble,

| | |
|---|---|
| Sulfate de nickel..... | 2 kilogrammes |
| Sel ammoniac..... | 1 — |
| Acide citrique..... | 100 grammes |

Faire bouillir, neutraliser par l'ammoniaque et étendre le tout à 50 litres.

*Anodes.* — On emploie, soit des anodes solubles, soit des anodes insolubles (platine ou charbon).

Avec les anodes insolubles, le bain s'enrichit constamment en acide. Avec les anodes solubles le bain devient de plus en plus alcalin.

Pour maintenir constante la composition du bain, on fait usage simultanément des deux système en proportionnant convenablement leur nombre.

*Conduite de l'opération.* — L'intensité du courant doit être réglée de façon à obtenir un dépôt d'environ 2 grammes de nickel par décimètre carré et par heure, soit une couche de $\frac{1}{40}$ mm. d'épaisseur.

*Préparation des pièces.* — Une des conditions les plus importantes pour assurer le succès de l'opération est le nettoyage et le polissage des pièces avant le traitement.

Les objets de zinc ne peuvent être nickelés qu'après avoir été recouverts préalablement d'un dépôt de cuivre.

## Argenture

*Composition du bain.* — La solution qui donne les meilleurs résultat est celle du cynanure double d'argent et de potassium.

| | | |
|---|---|---|
| Formule Roseleur | Cynaure de potassium..... | 500 grammes |
| | — d'argent..... | 250 — |
| | Eau..... | 10 litres |

*Anodes.* — Les anodes doivent être en argent pur plongeant entièrement dans le bain et suspendues par du fil de fer ou des bandes de plomb. La surface des anodes doit être à peu près égale à la surface des pièces à argenter.

*Conduite de l'opération.* — Le dépôt d'argent est obtenu en deux fois. Premier séjour d'un quart-d'heure dans le bain. Nettoyage à la brosse avec du tartre, rinçage, immersion dans une solution chaude de cynanure de potassium, deuxième lavage à l'eau, et immersion dans l'électrolyte jusqu'à amener le dépôt de l'épaisseur voulue.

La densité du courant doit être de 0,5 ampère par décimètre carré.

Les pièces doivent être agitées dans le bain pendant l'opération pour que le dépôt soit d'épaisseur uniforme, et le courant doit être interrompu avant de retirer les pièces.

*Préparation des pièces.*— Les objets, avant l'argenture, doivent être soumis au *polissage*, *dégraissage* (immersion dans une solution bouillante de potasse), *dérochage* (immersion dans une solution d'acide sulfurique au 1/10) *décapage*, (acide azotique faible) *amalgamation* (immersion de quelques secondes dans un bain composé de 10 litres d'eau, 100 grammes de bioxyde de mercure, et acide sulfurique jusqu'à dissolution du sel de mercure.

## Dorure

Deux procédés à chaud ou à froid suivant qu'il s'agit de petites ou de grandes pièces.

*Composition du bain* (Roseleur).

1° *Dorure à froid* (grandes pièces) :

100 grammes or pur dissous dans l'eau régale et 2 litres d'eau ;

200 grammes de cynanure de potassium dissous dans 8 litres d'eau.

Les deux solutions mélangées sont soumises à une ébullition d'une demi-heure.

2° *Dorure à chaud* (petites pièces) :

600 grammes phosphate de soude cristallisé dissous dans 8 litres d'eau.

10 grammes or pur dissous dans l'eau régale étendue d'un litre d'eau.

10 grammes cyanure de potassium et 100 grammes de bisulfate de soude dissous dans un litre d'eau.

Le mélange des deux premières solutions est additionné de la troisième.

Le bain pendant l'opération doit être maintenu à une température comprise entre 50 et 80° C.

*Anodes.* — Les anodes pour dorure ordinaire sont en platine.

En faisant usage d'alliages de composition déterminée on peu obtenir des dépôts de coloration différente.

*Dorure verte* (anode alliage or argent).

*Dorure rouge* (anode alliage or cuivre).

*Durée de l'opération.* — L'or étant très adhérent sous une mince pellicule, la durée de l'opération n'est que de quelques minutes. L'intensité par décimètre carré des cathodes ne doit pas dépasser 0,1 ampère.

Les objets doivent être agités dans le bain pendant l'opération.

On remédie à l'appauvrissement du bain par l'addition d'un sel d'or.

## Cuivrage.

### *Composition du bain.*

1° *Procédé Weill.* — Solution alcaline de sulfate de cuivre, de tartrate de soude et de soude caustique. On maintient le titre du bain par l'addition de temps à autre d'oxyde de cuivre ;

2° *Procédé Gauduin.* — Solution d'oxalate double de cuivre et d'ammoniaque employée à une température de 40 à 60° ;

### 3° *Formule de Sprague.*

| | |
|---|---|
| Solution saturée de cuivre..... | 3 volumes |
| — acide sulfurique au 1/10..... | 1 — |

## Laitonisage (Russell et Woolrich).

| | |
|---|---|
| Acétate de cuivre..... | 3730 grammes |
| — de zinc..... | 373 — |
| — de potassium..... | 3730 — |
| Eau..... | 25 litres |
| Anode en laiton..... | |

## Bronzage (Salzède).

| | |
|---|---|
| Cyanure de potassium..... | 50 parties |
| Carbonate de potassium..... | 500 — |
| Chlorure d'étain..... | 12 — |
| Chlorure de cuivre..... | 15 — |
| Eau..... | 5000 — |
| Température du bain à 36°..... | |

## Platinage (Roseleur).

Mélange d'une solution de 10 grammes de platine sous forme de chlorure dans 500 grammes d'eau avec une solution de 100 grammes de phosphate d'ammoniaque dans 500 grammes d'eau. On ajoute peu à peu une dissolution de phosphate de soude dans 1 litre d'eau.

Le tout est maintenu à l'ébullition jusqu'à ce que la liqueur devienne incolore ; le bain est employé à chaud.

## Dépôt d'étain.

### 1° (Roseleur).

| | |
|---|---|
| Protochlorure d'étain fondu..... | 50 grammes |
| Pyrophostate de soude..... | 500 — |
| Eau..... | 50 litres |

### 2° (Maistrasse).

| | |
|---|---|
| Solution de soude caustique 3° Beaumé | 1000 litres |
| Chlorure d'étain..... | 100 grammes |
| Cyanure de potassium..... | 300 — |
| Anode en étain..... | |

# TABLE DES MATIÈRES


| | Pages |
|---|---|
| **Tables usuelles** | 1 |
| Facteurs usuels dans les calculs | 1 |
| Expressions relatives à la valeur de $g$ | 2 |
| Logarithmes des nombres compris entre 1 et 1.000 | 4 |
| Lignes trigonométriques naturelles dans un cercle de rayon 1 | 6 |
| Puissances quatrième et cinquième des nombres compris entre 1 et 160 | 15 |
| Circonférences et cercles | 17 |
| Longueur des arcs de cercle dont le rayon est l'unité. | 30 |
| Problème inverse dans un cercle de rayon 1 | 31 |
| Calcul des arcs et segments de cercles | 32 |
| Carrés et cubes ; racines carrées et cubiques, et réciproques des nombres compris entre 1 et 1.500 | 39 |
| **Propositions et formules mathématiques** | 73 |
| *Arithmétique et Algèbre* | 73 |
| Logarithmes | 75 |
| Résolution des équations | 77 |
| Arrangements, permutations, combinaisons | 77 |
| Interpolation | 78 |
| Méthode des moindres carrés | 80 |
| *Trigonométrie* | 81 |
| Résolution des triangles | 82 |
| *Géométrie.* — Aires des surfaces planes, relations qui s'y rapportent | 83 |
| Relations entre les éléments du cercle et du carré | 84 |

Pages.
Relations entre les éléments du cercle et des polygones réguliers ..... 85
*Surface convexe et volume de solides définis géométriquement* ..... 86
*Mesure de solides usuels non géométriquement définis.* 89
Cubage des bois. — Mesurage au quart, au cinquième ou sixième déduit ..... 90
Contenance des tonneaux ..... 91
*Géométrie analytique à deux dimensions.* — Formules de transformation des coordonnées ..... 92
Equation du premier degré (ligne droite) ..... 93
Lignes du second degré ..... 94
*Propriété des courbes du 2e degré.* — Cercle, ellipse.. 95
*Calcul infinitésimal.* — Calcul différentiel ..... 101
Dérivées et différentielles des fonctions les plus simples ..... 102
Calcul intégral ..... 103
Quelques intégrales usuelles ..... 104
Construction graphique d'une intégrale définie quelconque ..... 104
*Application du calcul infinitésimal.* — Maxima et minima ..... 105
Développement en série ..... 105

**Poids et mesures** ..... 107
Mesures française, mesures légales ..... 107
*Calcul des intérêts* ..... 109
Intérêts simples, méthode générale ..... 109
Tenue des comptes courants ..... 111
Jours écoulés depuis le 1er janvier et à parcourir jusqu'au 31 décembre, pour les années de 365 jours... 113
Intérêts composés ..... 114
Valeurs à la fin de *n* années de 1 fr. placé à intérêts composés ..... 116
Annuités ..... 117
Tableaux des sommes produites ou des annuités à payer selon le taux de l'intérêt pour 100 francs ..... 118
Amortissement ..... 121
Montant d'une somme connue à recevoir ou à dépenser par heure, par jour, par semaine, par mois et par année ..... 121

Pages

Nombre d'années nécessaires pour constituer un capital suivant que l'on fait varier la dotation annuelle et le taux de l'intérêt ..... 122
Paiement des journées pour un nombre d'heures donné ..... 123

**Mécanique générale** ..... 125
Définitions : inertie, mouvement, vitesse, etc ..... 125
Vitesse en kilomètres par heure, d'après le nombre de secondes employées à parcourir 1 kilomètre ..... 126
*Chutes des corps. — Pesanteur* ..... 127
Hauteurs de chute et vitesses acquises correspondantes pour des hauteurs inférieures de 5 mètres .. 128
*Centres de gravité* ..... 133
*Principes généraux* ..... 134
— de d'Alembert ..... 134
— de Carnot ..... 135
Forces centripède et centrifuge ..... 135
*Travail mécanique* ..... 136
Emploi des moteurs animés. Quantités de travail que peuvent fournir l'homme et les animaux dans différentes circonstances ..... 137
Données relatives au transport horizontal ..... 138
Effort moyen, en kilogrammes, qu'un homme peut exercer pendant un court intervalle de temps, avec différents outils ..... 138
Quantités de travail dynamique nécessaires pour diverses fabrications ..... 139
Quantités de travail dynamique nécessaires pour actionner les machines outils ..... 142
Frein de Prony ..... 143
*Des frottements* ..... 144
Coefficient *f* du frottement sous des pressions continuellement croissantes jusqu'à ce que les surfaces en contact soient entamées ..... 145
Frottement de glissement des surfaces planes après qu'elles ont été quelque temps en contact ..... 146
Frottement de glissement des surfaces planes pendant le mouvement ..... 150
Frottement des axes ou tourillons en mouvement dans leurs boîtes ou sur leurs coussinets ..... 154

Pages
Frottement des pistons dans les corps de pompe..... 156
Frottement de roulement..... 156
*Tirage des voitures*..... 157
Rapports de la force de tirage sur diverses routes à la charge totale trainée..... 158
Matière à lubrifier les articulations des machines.... 158
Alliages antifriction..... 159
Alliages de friction et mastics pour joints..... 160
Valeurs de *f* dans le cas où le lien flexible embrasse une seule demi-circonférence du cylindre fixe..... 161
Tension que doit avoir le brin conducteur d'une corde en courroie enroulée sur un tambour pour faire glisser à sa surface le brin conduit soumis à une tension donnée..... 162
*Raideur des cordes*..... 163
Transformation des mouvements..... 165

**Machines simples**..... 169
Presse à coin..... 171
— à axe horizontal..... 171
Treuil à axe vertical ou cabestan..... 172
Poulie mobile..... 173
Moufles à poulies égales..... 173
Moufles à poulies inégales..... 174
Vis à filet carré..... 174
Vis à filet triangulaire..... 175
*Roues d'engrenage*..... 175
Tracé des engrenages. — Observations générales .... 175
— — Règles pratiques..... 176
Diamètre du cercle primitif d'après le nombre des dents et le pas de l'engrenage..... 177
*Tracé pratique du profil des dents au moyen d'arcs de cercle*..... 180
Tableaux des pas circonférentiels et diamétraux avec hauteur de la dent..... 188

**Résistance des matériaux**..... 190
*Résistance à la traction*..... 191
Poids que peuvent supporter divers solides soumis à un effort de traction longitudinale..... 193
Résistance et poids des cordes marines..... 194

Pages
Effort de traction des chaînes en fer..... 194
Câbles en fil de fer..... 195
Comparaison entre les câbles en chanvre et en fer.... 195
Dimensions, poids approximatifs et résistance des câbles ronds..... 196
Acier fondu comprimé, force de traction et ductilité des différentes qualités..... 197
Résistance et allongement des courroies en cuir..... 197
Largeur des courroies..... 197
*Résistance à l'écrasement*..... 199
Résistance des briques..... 202
Poids que peuvent supporter des solides soumis à un effort de compression, tels que les colonnes, les piliers, les étais, etc..... 203
*Résistance à la flexion transversale*..... 204
Equation de l'équilibre permanent..... 204
Valeurs numériques de $\frac{RI}{v}$ pour les fers I laminés.... 205
*Résistance à l'explosion*..... 211
Expériences faites sur la rupture de divers métaux par l'explosion de poudre..... 211
Moments de résistance $\frac{RI}{v}$ des fers I en tôle et cornières..... 212
Moments de résistance des poutres formées de 4 cornières..... 217
*Dents de roue d'engrenage*..... 218
Epaisseur *h* en millimètres convenant aux dents d'engrenage en fonte, pour les forces en chevaux et des vitesses à la circonférence données..... 218
*Ressorts pour wagons et locomotives*..... 219
*Résistance à la torsion*..... 220

**Physique industrielle**..... 222
*Corps simples*..... 222
*Densités*..... 223
Poids absolu d'un décimètre cube de diverses substances..... 224
Vitesse du son..... 226
Vitesse de la lumière..... 226
*Chaleur*..... 226

Pages
Comparaison des différents thermomètres..... 226
Points de fusion de diverses substances..... 228
Termes d'ébullition de divers liquides..... 229
Dilatations entre le terme de la congélation de l'eau, et celui de son ébullition..... 229
Dilatation moyenne des gaz pour : 1° entre 0 et 100°, sous une pression constante et voisine de la pression normale..... 229
Evaluation des températures élevées..... 230
Recuit de l'acier trempé..... 230
*Argiles réfractaires*..... 230
Tableau du froid produit par quelques mélanges frigorifiques..... 231
*Chaleur spécifique*..... 231
Unité de chaleur..... 231
Chaleur spécifique de l'eau..... 231
Chaleurs spécifiques de quelques fluides sous pression constante..... 232
*Chaleur latente*..... 233
Chaleur latente de liquéfaction de diverses substances. 233
Chaleur latente de vaporisation de l'eau..... 233
Chaleur latente de vaporisation de diverses substances sous la pression atmosphérique..... 234
Evaporisation de l'eau à l'air calme à diverses températures et par mètre carré de surface d'eau..... 234
Poids de la vapeur d'eau renfermée dans un mètre cube d'air saturé, à différentes températures..... 234
Correspondance entre la tension de la vapeur d'eau saturée et la température..... 235
Force expansive de la vapeur d'alcoot et d'éther sulfurique à diverses températures..... 235
*Combustibles*..... 236
Analyse de la houille et du coke..... 236
Composition des houilles..... 236
Quantités de chaleur développées par un kilogramme de divers combustibles..... 237
Puissances calorifiques et pouvoirs rayonnants des différents combustibles, avec les volumes d'air nécessaires à leur combustion, et ceux qui se dégagent par les cheminées, pour 1 kilogramme de combustible..... 238

Pages

Quantité de vapeur produite par 1 kilogramme des différents combustibles en usage et nombres indiquant leurs puissances calorifiques relatives..... 238
*Goudrons et leurs dérivés*..... 239
*Composition des eaux*..... 240
TABLEAU DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES DE L'EUROPE..... 241

**Moteurs**..... 245
*Principales dimensions*..... 245
Cheval-vapeur..... 245
Règle de l'amirauté anglaise pour calculer la force nominale en chevaux d'une machine marine à condensation..... 245
Règle française moderne..... 245
Indication du timbre..... 247
Tableau des épaisseurs pratiques à donner aux chaudières cylindriques en tôle..... 248
Tableau des épaisseurs pratiques à donner aux têtes de bouilleurs et de chaudières en tôle..... 248
Noms en français et en anglais des principales parties d'une machine à vapeur..... 249
Correspondance des mesures anglaises et françaises des pressions..... 250
*Locomotives*..... 251
Dimensions principales des voies en France..... 254
Travail de la vapeur à divers degrés de détente..... 255
Quantités de travail totales produites sous différentes détentes, par 1 mètre cube de vapeur d'eau prise à la tension de 1 atmosphère..... 257
Tableau abrégé des résultats des expériences de M. Regnault sur la vapeur d'eau..... 258
Transformation de 1 kilog. d'eau en vapeur saturée de même température, d'après la théorie mécanique de la chaleur..... 259
Table pour le tracé de la courbe de détente de 1 kil. de vapeur d'eau initialement saturée..... 260
*Machine à air*..... 260
*Ecoulement des fluides.* — Formule générale..... 262
Table des vitesses d'écoulement de la vapeur d'eau... 263
Vitesse d'écoulement de la vapeur d'eau saturée sèche. 263

Pages

**Eclairage au Gaz** ..... 264
Consommation totale ; publique et privée ..... 264
Produits dérivés des goudrons ..... 268

**Hydraulique** ..... 270
Puissance motrice d'une chute d'eau en chevaux ..... 270
Tableau du rendement des divers systèmes de roues hydrauliques ..... 270
Ecoulement de l'eau ..... 270
Pouce d'eau ..... 272
Quantité d'eau qui s'écoule en moyenne, en une seconde, par une vanne verticale trempée de 1 décimètre carré d'ouverture, avec une charge donnée sur le centre de la vanne ..... 273
Produit de pouce dit de fontainier, par secondes, etc. 274
Déversoirs ..... 275
Ecoulement de l'eau dans les canaux à régime uniforme ..... 275
Quantité d'eau que débite par seconde des lames en déversoirs, versant à air libre ..... 276

**Détails complémentaires sur l'hydraulique** .. 279
Ecoulement à gueule-bée ..... 279
Formules usuelles de l'écoulement par les orifices ... 280
Formule de M. de Saint-Venant ..... 281
Tableau pour le calcul de la vitesse de l'eau pour des diamètres variant entre 1 centimètre et 1 mètre ..... 284
Tables de formules pratiques, donnant les moyens de déterminer le diamètre d'une conduite, quand la pente par mètre et le volume d'eau à débiter, sont donnés ..... 284
Mouvement de l'eau dans les conduites de divers diamètres, établissant les relations entre les volumes écoulés, en litres ou en pouces, la charge par mètre et la vitesse ..... 285

**Électricité** ..... 288
Unités absolues ..... 288
Unités pratiques ..... 288
Unités de résistance ..... 289
Unités de courant ..... 290

Pages
Piles hydro-électriques ..... 291
Tableau de la constitution des principales piles hydro-électriques ..... 292
Accumulateurs ..... 297
Tableau des essais faits sur une batterie d'accumulateurs Farbaki-Scheneck ..... 298
Transformateurs ..... 299
Essai d'un transformateur de 10 lampes ..... 299
Transformateur Westinghouse ..... 300
Eclairage électrique ..... 301
Renseignements généraux ..... 301
Intensité lumineuse de divers éclairages ..... 301
Rendement des lampes à arcs ..... 302
Constantes des lampes les plus usuelles ..... 303
Applications du transport de la force ..... 304
Tramway avec conducteur longeant la voie ..... 304
Tramways avec accumulateurs ..... 305
Télégraphie ..... 306
Rendement des divers appareils télégraphiques ..... 306
Signaux de l'appareil Morse ..... 307
Classement des lettres de l'alphabet ..... 308
Sonneries électriques ..... 309
Exemples de poses de sonneries électriques ..... 309
Téléphonie ..... 313
Renseignements usuels ..... 313
Galvanoplastie ..... 314
Procédé du bain simple ..... 514
Procédé ordinaire ..... 314
Nickelage ..... 315
Argenture ..... 316
Dorure ..... 316
Cuivrage ..... 317
Laitonisage ..... 318
Bronzage ..... 318
Platinage ..... 318
Dépôts d'étain ..... 318

FIN

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE L. BARNÉOUD & Cie.

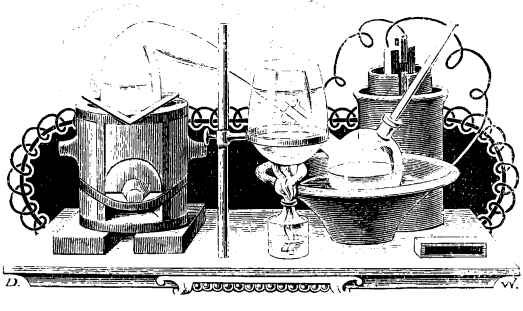
*Librairie Bernard Tignol,*
*53 bis, Quai des Grands-Augustins*
**Téléphone 275.00**

# Électricité

## INDUSTRIES DIVERSES

## Arts et Manufactures — Chimie Industrielle

### PREMIÈRE PARTIE



Ces livres sont envoyés franco, joindre à la demande le montant en un mandat-poste

*Nous fournissons également tous les ouvrages de Science, Industrie, Littérature, etc., qui ne figurent pas dans nos Catalogues.*

**La Maison se charge de publier à son compte ou à celui des Auteurs tous les ouvrages se rattachant à sa spécialité**

**1902**

PARIS
**Librairie Bernard TIGNOL**
PUBLICATIONS DE LA
**LIBRAIRIE de L'ÉCOLE CENTRALE des ARTS et MANUFACTURES**
53 *bis*, Quai des Grands-Augustins, 53 *bis*

*Accumulateurs* (Voir ÉLECTRICITÉ, PILES).

**Les Accumulateurs électriques.** Nouvelle édition, par F. CACHEUX, ingénieur-électricien. — 1 vol. in-16 avec figures dans le texte, 1901. — Prix. . . . . **4** fr.

TABLE DES CHAPITRES. — Description et mode d'emploi des piles secondaires. — Les accumulateurs anciens et nouveaux. — Montage des éléments et choix du local pour les accumulateurs. — Charge et décharge. — Les accidents : leurs causes et leurs remèdes. — Résumé.

*Acétylène.*

**L'Acétylène et ses Applications, l'Incandescence par le Gaz et le Pétrole,** par F. DOMMER, ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à l'École de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris; 1 beau vol. in-16, 220 fig. — Prix. . **4** fr. **50**

Après une théorie élémentaire de la lumière, l'auteur aborde la description, peu connue, des minéraux dont les oxydes sont utilisés à produire l'incandescence : thorite, orangite, monazite, et traite ensuite avec une grande compétence les appareils à incandescence, à combustion complète, de Siemens, Bandsept, Denayrouse et Aüer, etc.

La seconde partie, la plus importante de cet ouvrage, est entièrement consacrée à l'*Acétylène*, le nouveau et déjà célèbre concurrent du gaz et de l'électricité. Tout ce que nous savons à ce jour sur l'acétylène, préparation de carbure de calcium, emploi dans l'éclairage, lampes mobiles, régulateurs, application à la carburation du gaz, à la traction, aux produits chimiques, alcool, etc., est décrit minutieusement.

*Acide sulfurique.*

**Fabrication de l'Acide sulfurique.** Procédés de contact, par E. PETITGOUT, in-16, 10 figures, 1902. — Prix. . . . . **1** fr. **50**

*Aérostation.*

**Manuel pratique de l'Aéronaute.** Étoffe.— Couture.— Filet. — Soupape. — Nacelle. — Lest. — Guide-rope. — Courants. — Observations. — Descente, etc. — Par W. DE FONVIELLE; in-16, figures. — Prix . **5** fr.

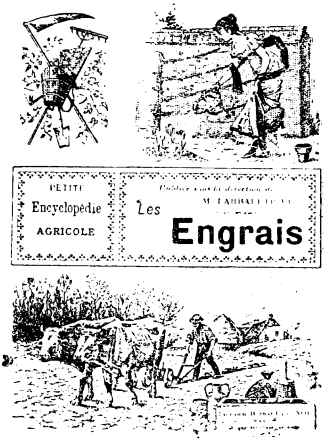
**3,000 kilomètres en Ballon,** par Maurice FARMAN, 1 volume in-8° illustré de nombreuses figures. — Prix. . . . . **3** fr. **50**

**Machines aériennes d'aluminium** (Fusairs et Uranes), par CONST. FONTANA, in-16 avec figures. — Prix . . . . . **1** fr. **50**

**Aérostation.** Construction, description et direction des ballons, par MIRET, in-8°, 58 pages, 37 figures. — Prix . . . . . **2** fr. **50**

*Agriculture.*

**Petite Encyclopédie d'Agriculture**, publiée sous la direction de M. A. LARBALÉTRIER, professeur à l'Ecole d'Agriculture de Grand-Jouan. Chaque ouvrage forme un volume in-16 avec nombreuses figures dans le texte. Les 10 volumes ensemble. Prix : **15** fr.




**Les Engrais.** Engrais chimiques. — Engrais naturels. — Engrais composés. — Formules. — Besoins des Plantes. — Analyse des Engrais par F. LEGRAND, 19 figures. — Prix . . . . **1** fr. **50**

**Le Drainage des Terres arables.** Drains en bois, en poterie, etc. — Travaux sur le terrain. — Drainages spéciaux. — Fonctionnement. — Avantages, par A. LARBALÉTRIER, 29 figures. — Prix. **1** fr. **50**

**Élevage du Bétail.** Chevaux.—Bœufs.—Vaches.— Moutons.—Porcs, etc. par EM. DARBORY, propriétaire-éleveur, 55 figures . . . . . **1** fr. **50**

**Nos Légumes et nos Fleurs.** Caractères. — Variétés. — Culture. — Maladies, etc., par E. FAVERI et A. LARBALÉTRIER, 56 figures. **1** fr. **50**

**Laiterie, Beurre et Fabrication des Fromages.** Lait. — Analyse. — Conservation. — Écrémage. — Barattage. — Conservation. — Fromages mous, frais, affinés, cuits, etc., par E. RIGAUX professeur à l'École d'Agriculture de Mende, 320 pages, 73 figures . . . . . **3** fr.

**Machines agricoles et Constructions rurales.** Charrues. — Herses. — Semoirs. — Faucheuses. — Moissonneuses. — Lieuses. — Batteuses, etc. — Constructions : Écuries. — Bouveries. — Étables, in-16, nombreuses figures, par G. MÉNUL, 112 figures. — Prix. . . . . **1** fr. **50**

**Céréales et Fourrages.** Culture pratique. — Froment. — Seigle. — Orge. — Avoine. — Sarrasin. — Trèfle. — Betterave, etc., par A. LARBALÉTRIER, 51 figures . . . . . **1** fr. **50**

**Arbres fruitiers et la Vigne.** Fumure. — Conduite. — Multiplication. — Variétés : Abricotier. — Amandier. — Cerisier, etc. — La Vigne. — Cépage, Culture, Accidents, Maladies, par P. D'AYGALLIERS, 46 figures . . . . . **3** fr.

**Cidre, Poiré et Boissons économiques.** Culture du pommier et du poirier. — Fabrication du cidre et du poiré. — Maladie du cidre, remèdes. — Eaux-de-vie. — Vinaigre. — Conservation des fruits. — Vins de Dattes, Figues, Poires, Pommes tapées. — Vins de fruits frais : Cerises, Prunes, Framboises, Groseilles, etc., 24 fig., par E. RIGAUX. **1** fr. **50**

**Volailles, Lapins et Abeilles.** Poules. Élevage, Incubation, Engraissement, Pintades, Dindons, Oies, Canards, Pigeons. — Lapins. Élevage. Alimentation. — Abeilles. Colonies, Nourriture, Rucher, Essaimage, Ruche, Récolte du miel, par E. PARADIS et A. MONTOUX, 52 fig. — Prix. **1 fr. 50**

---

**Conserves alimentaires.** Fruits, Légumes, Poissons et Viandes, par DE NOTER ; 1 beau volume in-16, 67 figures. — Prix . . . . . **3** fr.

**Distilleries agricoles.** Fabrication de l'alcool, par E. ROBINET et G. CANU. — Prix . . . . . **3 fr.**

**Guide pratique du Tracé et de l'Ornementation des Jardins d'agrément**, par T. BONA. — 1 volume in-18 de 304 pages et 258 figures. — Quatrième édition. — Prix. . . . . **3 fr.**

**La Vaccination charbonneuse,** d'après PASTEUR, par CH. CHAMBERLAND ; in-8°, 10 figures, cartonnage toile. — Prix. . . . . **5** fr.

*Aluminium.*

**L'Aluminium.** Nouveaux procédés de fabrication. — Alliages. — Emplois récents de l'aluminium. — Par Ad. MINET, ingénieur-électricien ; 2 volumes in-16, figures dans le texte. — Prix. . . . . **9** fr.

*On vend séparément :*

1re PARTIE : Fabrication. — Prix. . . . . **4** fr. **50**

2e PARTIE : Alliages, Emplois. — Prix. . . . . **4** fr. **50**

*Ammoniaque.*

**L'Ammoniaque, ses nouveaux Procédés de Fabrication et ses Applications.** L'Ammoniaque. — Ses sels ammoniacaux. — Propriétés physiques. — Fabrication. — Travail des Eaux ammoniacales. — Analyse de l'Ammoniaque. — Des Sels ammoniacaux. — Des Matières premières. — Dosage dans les Eaux. — Applications. — Production et Consommation. — Brevets. — Par P. TRUCHOT, ingénieur-chimiste ; in-16, figures. — Prix. . . . . **6** fr.

*Architecture et Constructions.*

**Aide-Mémoire de poche de l'Architecte et de l'Ingénieur-Constructeur,** pour le calcul des Constructions. — Formules usuelles. — Fondations. — Poutres. — Planchers en fer et en bois. — Calcul des Fermes. — Maçonnerie. — Hydraulique. — Électricité. — Chauffage. — Escaliers, etc. — Tables. — Par Ch. SÉE, ingénieur-architecte ; 1 volume in-16, avec figures, cartonné, toile anglaise. — Prix. . . . . **4** fr. **50**

**Tables à l'usage des Constructeurs,** donnant, par la connaissance de la corde et de la flèche, le rayon, l'angle au centre, etc. — Par L. SERGENT, in-12 (1882). — Prix. . . . . **1 fr. 50**

**Les Cheminées d'usines.** Constructions. — Réparations, par Victor LEFÈVRE, ingénieur civil ; 1 volume in-16 de 48 pages, avec 13 figures dans le texte. — Prix. . . . . **1** fr. **50**

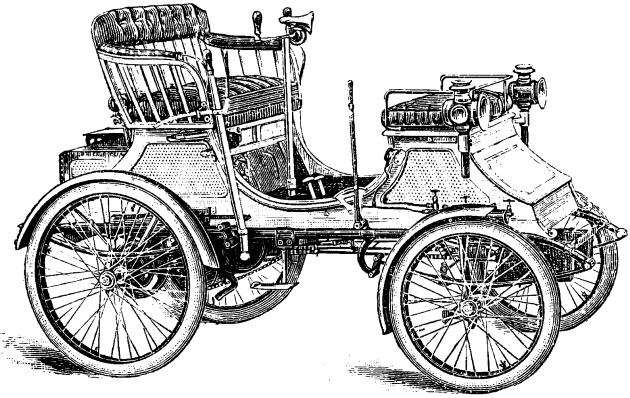
**La Tour Eiffel de 300 mètres** de l'Exposition Universelle. — Historique et Description ; par Max de NANSOUTY, ingénieur ; 1 volume in 16 de 140 pages ; nombreuses figures. — Prix. . . **2** fr. **50**

*Arpentage.*

**Manuel pratique d'Arpentage et de levé des Plans**, par G. DALLET, du Service géographique de l'Armée, 1 volume in-16, 73 figures dans le texte. — Prix. . . . . **4** fr.

*Automobiles* (Voir CHAUFFEURS).

**Manuel pratique du Constructeur d'Automobiles à pétrole**, par Maurice FARMAN. — Un beau volume in-16, avec 65 figures dans le texte et un atlas de 20 planches in-4°, 1901. — Prix **9** fr.



La fin de l'Exposition universelle marque l'entrée de l'automobilisme dans une seconde période qui permet enfin la publication d'un ouvrage mis au courant des derniers progrès accomplis et donnant, pour les plus importantes marques, les détails de construction de la voiture automobile et le montage du moteur.

Le livre de M. Maurice Farman sera aussi utile aux constructeurs et aux propriétaires qu'aux nombreux mécaniciens qui sont chargés journellement d'exécuter les réparations urgentes.

**Manuel du Conducteur-Chauffeur d'Automobiles**, par Maurice FARMAN. — Achat d'une Automobile. — Moteurs — Carburation. — Allumage. — Transmissions. — Freins. — Essieux. — Roues. — Différents types : Panhard, Peugeot, Mors, Roger, Huguet, Gautier, de Dietrich. Moteurs Aster, Motocycles, etc. — Tricycles de Dion, Bollée, etc. — Excursions. — Réglementation. — In-16, 67 figures, 2me édition (1900). — Prix. **3** fr.

*Bière.*

**Manuel pratique de la Fabrication de la Bière,** par P. BOULIN, chimiste-industriel; un gros volume in-16, avec figures dans le texte et une planche (plan d'une grande brasserie). — Préparation du malt. — Brassage. — Le moût. — Houblonnage. — Fermentation. — Levure. — Mise en levain, etc. — Les fûts. — Caves. — Clarification. — Diverses méthodes de brassage. — Analyse. — Falsification, etc. — Prix. **9** fr.

**Tables du degré de fermentation et du rendement en extrait donnés immédiatement sans calcul,** par Jean STAUFFER, professeur à l'École de brasserie de Munich. 1 grand volume in-8° de 964 pages. Cartonné toile. — Prix. . . . **10** fr.

*Bois et Arbres.*

**Conservation des Bois.** Séchage rapide, imputrescibilité et ininflammabilité des bois, par P. DUMESNY, in-16 avec figures, 1902. — Prix. **1** fr. **50**

**Arbres fruitiers et la Vigne.** Fumure. — Conduite. — Multiplication. — Variétés : Abricotier. — Amandier. — Cerisier, etc. — La Vigne. — Cépage, Culture, Accidents, Maladies, par P. D'AYGALLIERS, 48 figures. — Prix . . . . . **3** fr.

**Traité de Sylviculture générale.** Culture, Aménagement et Gestion des Forêts, par Alexis FROCHOT, sous-inspecteur des Forêts. — 1 volume in-8°, 254 pages, 41 figures. — Prix . . . . . **10** fr.

*Bougies* (Voir SAVONS).

**Théorie et pratique de la Fabrication des Bougies, des Chandelles et Savons de Toilette,** par Léon DROUX et V. LARUE, ingénieurs-chimistes ; in-8° de 592 pages, 108 figures dans le texte et un atlas de 19 planches in-4°, cartonnage toile anglaise.

Cet ouvrage doit être considéré comme un *vade-mecum* indispensable pour tous ceux dont l'industrie a pour base les matières grasses : fabricants d'acides gras, huiliers, stéariniers, chandeliers, savonniers et parfumeurs, etc. Sous une forme condensée, on y trouve, avec les renseignements les plus complets, les études théoriques et pratiques sur les matières premières, l'outillage, la fabrication, les progrès réalisés dans chacune de ces industries. — Prix. . . . . **20** fr.

*Briques et Tuiles.*

**Guide du Briquetier : Briques, Tuiles, Carreaux, Tuyaux** et autres produits en terre cuite, par Émile LEJEUNE, ingénieur-industriel ; 3me édition contenant 219 figures dans le texte. — Prix. **8** fr.

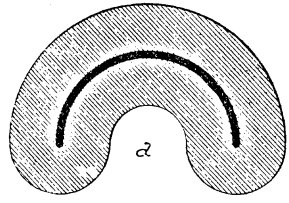
**Fabrication des Briques et des Tuiles,** suivie de la fabrication des pierres artificielles, des poteries communes, Porcelaines et Faïences, par MM. BONNEVILLE, JAUNEZ et SALVÉTAT, 3me édition, 29 figures et 11 planches, cartonné toile anglaise. — Prix. . . . . **10** fr.

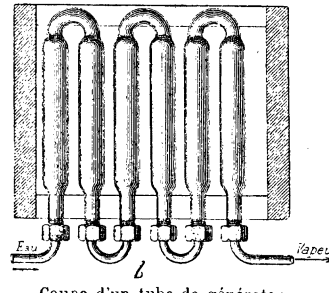
*Chaleur.*

**La Chaleur.** Leçons élémentaires sur la thermométrie, la calorimétrie, la thermodynamique et la dissipation de l'énergie, par J. CLERK MAXWELL F. R. S., édition française d'après la 8me édition anglaise, par G. MOURET, ingénieur des ponts et chaussées, avec préface de M. A. POTIER, membre de l'Institut, in-16, figures dans le texte. — Prix. . . . . **6** fr.

*Chauffeurs* (Voir AUTOMOBILES, MÉCANIQUE et MACHINES).

**Catéchisme des Chauffeurs et des Machinistes,** traitant de la législation, de la combustion, de l'entretien, de la conduite des machines, mise en marche, description des organes, arrêt, machines spéciales, chaudières, foyers, appareils de sûreté, etc., 5me édition, revue et augmentée d'un appendice, in-16, figures dans le texte.
Prix . . . . . **1** fr. **50**




Coupe d'un tube de générateur Serpollet.
Raccord des tubes dans le générateur.

*Chaux et Ciments* (Voir BRIQUES ET TUILES).

**Guide du Chaufournier et du Plâtrier,** du fabricant de ciments, bétons et mortiers hydrauliques, par Émile LEJEUNE, ingénieur; 3me édition, 1 beau volume in-16, 59 figures dans le texte. — Prix. . . . . **5** fr.

*Chemins de fer.*

**Calcul des Voies.** Partie théorique et Formules, par J. MARIDET, chef de section P.-L.-M., in-8°, 1876, — Prix réduit . . . . . **2** fr. **50**

*Chimie* (Voir page 29).

**Dictionnaire de Chimie industrielle,** contenant toutes les applications de la Chimie à l'Industrie, à la Pharmacie, à la Métallurgie, à l'Agriculture, à la Pyrotechnie et aux Arts et Métiers, avec la traduction russe, anglaise, allemande, espagnole et italienne des principaux termes techniques, par M. A.-M. VILLON, ingénieur-chimiste, professeur de technologie chimique, ancien rédacteur en chef de *la Revue de Chimie industrielle,* et par M. P. GUICHARD, Président de la Société de Pharmacie, Membre

de la Société chimique de Paris, ancien professeur de Chimie et de Teinture à la Société industrielle d'Amiens; 3 beaux volumes in-4°, 2,300 pages, 1,200 figures. — Prix . . . . . **75** fr.

On vend séparément :

Le tome Ier, **30** fr. — Le tome II, **25** fr. — Le tome III, **25** fr.

**Principes de Chimie,** par DIMITRI MENDÉLÉEFF, professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (édition française), par MM. ACHKINASI et CARRION, avec préface par M. le professeur Armand GAUTIER, 2 vol. in-16 cartonnés.

TOME I. — L'étude de la chimie. — L'eau et ses combinaisons. — Composition de l'eau et hydrogène. — L'oxygène. — Ozone et peroxyde d'hydrogène. — Loi de Dalton. — Azote et air atmosphérique. — Composés hydrogénés de l'azote. — Molécules et atomes. — 1 vol. in 16, nombreuses figures, 585 pages. — Prix. . . . . **7** fr. **50**

TOME II. — Carbone et hydrocarbures. — Chlorure de sodium. — Les Halogènes : chlore, brome, iode, fluor. — Potassium, rubidium, cesium, lithium. — Capacité calorique des métaux. — Similitude des éléments et Loi périodique. 1 vol. in-16, figures dans le texte, 499 pages. — Prix. **7** fr. **50**

*Chocolat.*

**Manuel pratique du Chocolatier.** Le Cacaoyer et sa culture. — Examen et choix du cacao. — Aromates. — Fabrication du chocolat. — Mélange. — Broyage et finissage. — Installation d'une chocolaterie moderne. — Différentes sortes de chocolat. — Moulage et empaquetage. — Falsification. — Par L. DE BELFORT DE LA ROQUE; in-16, nombreuses fig. — Prix. **4** fr. **50**

*Cidre.*

**Cidre, Poiré et Boissons économiques.** Culture du pommier et du poirier, — Fabrication du Cidre et du Poiré. — Maladie du Cidre, Remèdes. — Eaux-de vie — Vinaigre. — Conservation des fruits. — Vins de Dattes, Figues, Poires, Pommes tapées. — Vins de fruits frais : Cerises, Prunes, Framboises, Groseilles, etc., 24 fig., par E. RIGAUX. **1** fr. **50**

*Combustibles* (Voir GAZ).

**Étude sur les Combustibles** en général et sur leur emploi au chauffage par les gaz, par M. LENCAUCHEZ, ingénieur civil: 1 vol. grand in-8°, 344 pages, 55 fig. dans le texte et un atlas de 31 pl. in-folio. — Prix. **16** fr.

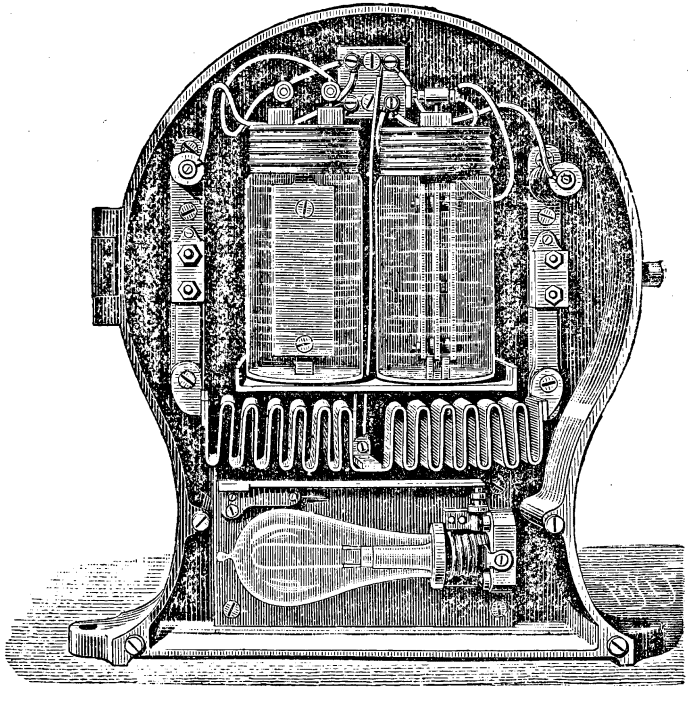
*Comptabilité.*

**Traité général théorique et pratique de Comptabilité commerciale, industrielle et administrative,** par G. OPPELT. — Ouvrage adopté pour l'Enseignement. 1 volume in-8° (1876), 367 pages. — Prix réduit. . . . . **4** fr.

*Compteurs.*

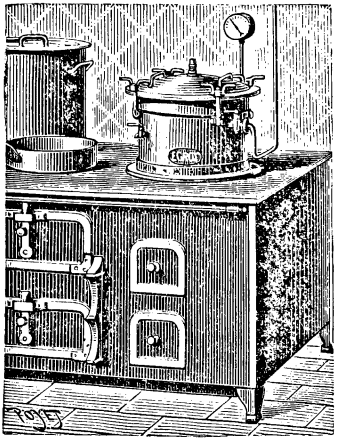
**Les Compteurs d'Électricité**, par Ernest COUSTET. 1 beau volume in-16 avec 56 figures dans le texte. — Prix. . . . . **2** fr. **50**

Dégagé de principes abstraits et de calculs compliqués, cet ouvrage a été rédigé de façon à être accessible à tous. Il pourra être mis utilement entre les mains du



Compteur EDISON (coupe).

monteur chargé de placer les compteurs, de les régler, de les vérifier et de les nettoyer. L'employé qui recueille chaque mois les indications des totalisateurs, en vue du calcul de la dépense, le consultera avec fruit. Enfin, l'abonné lui-même pourra y trouver des notions intéressantes, lui permettant de se rendre compte de la marche du compteur installé chez lui, de reconnaître si les factures qui lui sont présentées correspondent bien aux indications des cadrans et de vérifier si ces dernières sont exactement en rapport avec sa consommation effective.



Spécimen des figures : Autoclave.
Appareil domestique pour la cuisson des conserves
pour restaurants, hôtels, châteaux, etc.

*Conserves.*

**Manuel des Conserves alimentaires.** Fruits, Légumes, Poissons, Gibier et Animaux de boucherie, in-16, nombreuses figures, 1902, par R. DE NOTER. — Prix . . . . . **3** fr.

*Corderie.*

**Fabrication des Cordes, Câbles, Ficelles et Filins.** Fabrication à la main et fabrication mécanique. — Matières textiles. — Variétés. — Goudronnage. — Cordes en chanvre. — Chanvre de Manille. — Essai des cordages. — Chanvre de corderie. — Défibrage des vieux câbles. — Cordes de fantaisie, etc. — Par Alfred RENOUARD, manufacturier à Lille; in-8°, 44 figures. — Prix. . . . . **10** fr.

*Corps gras.*

**Les Corps gras.** Huiles végétales, non-siccatives, siccatives. — Huiles animales. — Graisses végétales. — Graisses animales. — Suifs. — Cires. — Matières grasses minérales. — Lubrifiants, etc. — Par A.-M. VILLON, ingénieur-chimiste, in-16, figures dans le texte. (2me tirage). — Prix. . **6** fr.

**Le Frottement, le Graissage des Machines et les Lubrifiants**, par R. H. THURSTON, professeur à l'Université de New-York, 2me édition française; 1 vol. in-16, avec figures dans le texte. — Prix. . . . . **4** fr.

*Couleurs* (Voir TEINTURE).

**Manuel pratique de la Fabrication des Couleurs.** Matières premières employées dans la préparation des couleurs, essences et vernis, par MM. R. LEMOINE et Ch. DU MANOIR; 1 beau volume in-8°, 360 pages. — Prix. . . . . **6** fr.

L'ouvrage que nous présentons au public est le plus complet qui ait été fait jusqu'à ce jour; les documents et les matériaux dont nous nous sommes entourés ont été puisés aux sources les plus sûres, nos expériences personnelles nous ont permis d'écarter de la pratique tout ce qui n'offrait pas une garantie suffisante.

Nous avons évité l'emploi des termes scientifiques, ayant moins en vue de faire une œuvre de savant que d'être utile à ceux qui emploient journellement les couleurs.

Nous espérons avoir rendu service à tous ceux qui s'occupent de la couleur, à quelque titre que ce soit, et qu'ils nous sauront gré de la publication de ce travail.

**Notions générales sur les Matières colorantes organiques artificielles,** par Jules MAMY; 1 volume in-16, 72 pages. . . . . **1** fr. **50**

*Dessin.*

**Cours de Dessin industriel** à l'usage des élèves des écoles professionnelles.—1re PARTIE : Géométrie graphique, 10 planches; 2me PARTIE : Géométrie des solides, 20 planches; 3me PARTIE (1re série) : Construction des machines, par G. BARDIN, professeur de dessin industriel. — **3** vol. in-f°, 1864. (Publié à 13 fr.). — Prix . . . . . **5** fr.

*Distillation. — Alcools. — Liqueurs.*

**Guide pratique du Distillateur. Fabrication des Liqueurs.** Distillation. — Rectification. — Filtrage. — Tranchage. — Générateurs. — Matières sucrées. — Conserves. — Sirops. — Punchs. — Miels et Hydromels. — Fruits à l'eau-de-vie. — Boissons gazeuses. — Liqueurs de ménage. — Par Édouard ROBINET (d'Épernay) : 1 fort volume in-16, 424 pages. — Prix. . . . . **5** fr.

Un Guide du Liquoriste comprenant non seulement la fabrication industrielle des liqueurs, mais encore toutes les recettes connues utilisables par un ménage, manquait dans la série des ouvrages publiés jusqu'à ce jour, c'est cette lacune que nous avons comblée.

**Manuel pratique de la Fabrication des Alcools.** Alcools de vin, de cidre, de poiré, de betteraves. de mélasses, etc., par E. ROBINET et CANU ; in-16, 32 figures dans le texte. — Prix. . . **3** fr.

**Distillation.** Traité ou Manuel complet théorique et pratique de la distillation de toutes les matières alcoolisables : grains, pommes de terre, vins, betteraves, mélasses, etc., contenant la description de tous les principaux appareils connus et en usage dans la pratique, par Charles STAMMER; 1 vol. grand in-8°, 452 pages, accompagné de 88 fig. dans le texte et de nombreux tableaux. Cartonné toile anglaise (1880). — Prix. . . . . **20** fr.

*Dynamos.*

**Les Machines dynamo-électriques.** De leur origine jusqu'aux derniers types industriels, par P. CLÉMENCEAU, ingénieur des Arts et Manufactures. — 1 vol. in-16 avec 116 fig. dans le texte. — Prix. . **5** fr.

TABLE DES MATIÈRES. — Théorie de l'induction. — De la machine dynamo-électrique. — Historique et machines diverses. — Anneau Gramme et modifications. — Machines dynamo-électriques à courants alternatifs. — Machines magnéto-électriques à courants alternatifs. — Machines à courant continu et induit en forme d'anneau. — Machines dynamo-électriques à induit en forme de bobine ou tambour cylindrique. — Machines dynamo-électriques à courants alternatifs. — Machine magnéto-électrique. — Machine à induit en forme de disque. — Notions pratiques relatives aux machines dynamos.

*Eaux.*

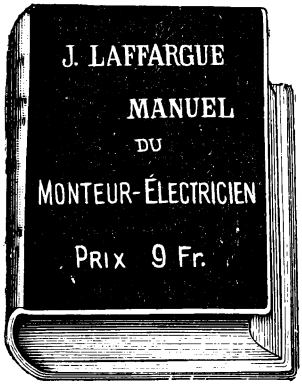
**Manuel pratique d'Analyse micrographique des Eaux**, par P. FABRE-DOMERGUE, directeur du Laboratoire de Zoologie maritime; in-16, 10 fig. — Prix. . . . . **1** fr. **50**

*École Centrale des Arts et Manufactures.*

(Portefeuille des Travaux de Vacances, voir deuxième partie du Catalogue.)

*Électricien. — Manuels d'Électricité. — Lumière Électrique.*

**Manuel pratique du Monteur-Electricien.** Le Mécanicien-chauffeur-électricien. — Montage et conduite des installations électriques, etc., par J. LAFFARGUE, ingénieur-électricien, attaché au service municipal de contrôle des Sociétés d'électricité de la Ville de Paris. — Petit in-8°, reliure anglaise, de 675 pages, 436 figures et 5 planches en couleurs. — Nouvelle édition. — Prix. . . . . **9** fr.




Cet ouvrage rendra d'éminents services, d'abord aux monteurs et aux chauffeurs, mais aussi aux ingénieurs et aux chefs d'industrie. Aucun ouvrage analogue ne peut lui être comparé. Il y a abondance de livres sur l'électricité, mais, aucun que nous sachions, ne groupe dans un exposé aussi méthodique, aussi clair, autant de renseignements pratiques. C'est là l'originalité de l'ouvrage. L'auteur, comme on dit, met la main à la pâte, et il ne craint pas d'insister sur les menus détails. Avec lui, on ne se contente pas de la théorie, on fait du métier. Sous sa direction, on devient vite expert dans l'art de manier les machines, les distributeurs électriques et leurs accessoires. Au fond il s'agit d'un cours d'électricité industrielle fait par un ingénieur très compétent. M. Laffargue a professé ce cours depuis des années à la fédération professionnelle des chauffeurs de France et d'Algérie; plus que personne, il a compris comment il fallait s'y prendre pour familiariser ses auditeurs avec les petites difficultés d'ordre pratique qui gênent les débutants, aussi a-t-il réussi à écrire un livre que nous ne craignons pas de qualifier de « modèle du genre ».

Ce Manuel est d'ailleurs complet sous sa dernière forme. Production de l'énergie, dynamos à courants continus alternatifs, polyphasés, accumulateurs, transformateurs, appareils de mesure, canalisations, installations publiques et privées, etc. N'insistons pas davantage. Ce qu'il importe que l'on sache, c'est qu'il existe maintenant un manuel, un vrai guide pratique du monteur, un *vade-mecum* de l'électricien. Ce livre rendra de véritables services à l'industrie.

**Les Lampes électriques.** Régulateurs. — Incandescence, par P. D'URBANITZKI. — Deuxième édition française, revue et augmentée, par Georges FOURNIER, ingénieur-électricien. — Un beau volume in-16 de 250 pages avec 126 figures dans le texte. — Prix. . . . . **4** fr **50**

**Manuel pratique de l'installation de la Lumière électrique,** par J.-P. ANNEY, ingénieur-électricien.

1re partie. — Installations privées. — Troisième édition. — 1 beau volume in-16 de 344 pages, avec 135 figures dans le texte. — Prix. . . . . **5** fr.

2me partie. — Stations centrales. — 1 beau volume in-16, avec 99 figures dans le texte et 10 planches dont 8 en couleurs. — Prix . . . . . **7** fr.

EXTRAIT DE LA TABLE DES CHAPITRES. — 1er volume. — *Installations privées*, avec 135 figures dans le texte. — Règles générales d'installation. — Moteurs. — Machines électriques. — Installation des machines et leur entretien. — Accumulateurs. — Lampes à arcs. — Bougies. — Lampes à incandescence. — Appareils de mesure. — Appareils de sécurité et de contrôle. — Interrupteurs et commutateurs. — Régulateurs de courant. — Tableaux de distribution. — Conducteurs. — Installations et canalisations. — Installations particulières.

2me volume. — *Stations centrales*, avec 99 figures dans le texte et 10 planches. — Distributions de courant. — Distributions à haute tension. — Distributions par transformateurs à courants continus. — Distributions par transformateurs à courants alternatifs. — Compteurs. — Etablissement des usines. — Établissement du réseau. — Installations intérieures chez les abonnés.

**L'Électricité dans la Maison moderne,** par Ernest COUSTET, ingénieur-électricien. — Production du courant. — Éclairage. — Chauffage. — Moteurs domestiques. — Assainissement. — Sonneries. — Horloges. — Téléphone. — Paratonnerres. — 1 fort volume in-16, avec 185 figures (1900). — Prix cartonné. . . . . **4** fr. **50**

**Câbles d'Éclairage électrique et Distribution de l'Électricité,** par STUART A. RUSSEL. — Traduit avec l'autorisation de l'auteur par G. FORMENTIN. — 1 fort volume in-16, avec 107 figures dans le texte. — Prix . . . . . **6** fr.

**Aide-Mémoire de l'Ingénieur-Électricien.** Recueil de tables, formules et renseignements pratiques à l'usage des électriciens, par G. DUCHÉ, B. MARINOVITCH, E. MEYLAN et G. SZARVADY. — Sixième tirage, augmenté par P. JUPPONT, ingénieur des Arts et Manufactures. — 1 beau volume in-16, nombreuses figures intercalées dans le texte, cartonnage anglais. Prix . . . . . **6** fr.

**Catéchisme d'Electricité pratique.** Premières leçons à la portée de tous. — Électricité statique. — Magnétisme. — Unités et Mesures. — Piles. — Accumulateurs. — Machines dynamo et magnéto-élec-

triques. — Lampes et Éclairage. — Téléphonie. — Sonneries. — Par Ernest SAINT-EDME, ancien professeur de physique à l'École Turgot. — 1 volume in-16 avec 73 fig., cartonné, deuxième édition. — Prix. . . . . **2 fr. 50.**

TABLE DES CHAPITRES. — Chapitre I. Généralités sur l'électricité statique. — Chapitre II. Magnétisme. — Chapitre III. Unités et Appareils de mesure. — Chapitre IV. Les Piles électriques. — Chapitre V. Accumulateurs. — Chapitre VI. Les Machines magnéto et dynamo-électriques. — Chapitre VII. L'Éclairage et les Lampes électriques. — Chapitre VIII. Tableaux de distribution; conducteurs; installations de lignes. — Chapitre IX. Téléphonie. — Chapitre X. Sonneries électriques.

**Petit Guide du Constructeur-Électricien**, par E. KEIGNART. — 1 vol. in-18 de 86 pages avec 50 fig. dans le texte. — Prix. **1 fr.**

*Électrolyse* (Voir GALVANOPLASTIE.)

**L'Électrolyse et l'Électro - Métallurgie**, par Edouard JAPING, ingénieur-électricien. — Troisième édition française, augmentée d'un appendice sur l'électro-métallurgie à l'exposition de 1900, par L. GUILLET, ingénieur-chimiste, 1 volume in-16 illustré de nombreuses figures dans le texte. — Prix . . . . . **4** fr

*Encres et Cirages.*

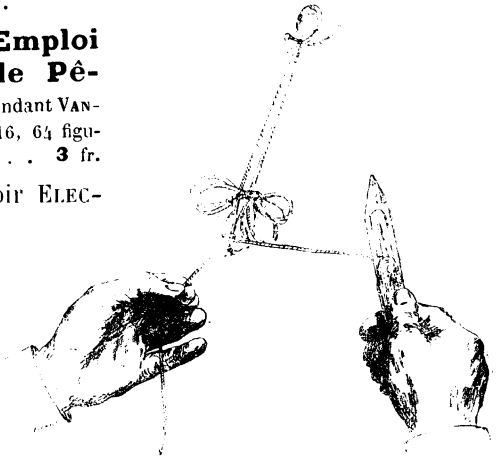
**Fabrication des Encres et Cirages.** *Encres à écrire, à copier, métalliques, à dessiner, lithographiques. — Cirages, vernis et dégras.* — Encres à écrire. — Matières premières. — Constitution chimique. — Fabrication des encres à l'acide tannique. — Encres à l'acide gallique. — Encres au campêche. — Encres au sesquioxyde de fer. — Encres à l'alizarine. — Encres de matières extractives. — Encres à copier. — Encres hectographiques. — Encres de sûreté. — Extraits d'encres et encres en poudre. — Conservation de l'encre. — Encres de couleur. — Encres métalliques. — Encres solides. — Encres et crayons lithographiques. — Crayons autographiques. — Crayons d'encre. — Crayons de couleur. — Encres à marquer. — Encres spéciales. — Encres sympathiques. — Encres pour timbres et tampons. — Bleu d'azurage du linge. — Fabrication du cirage pour chaussures, des vernis, et de la graisse pour le cuir. — Fabrication du noir d'os. — Fabrication du dégras. — Édition française, par DESMAREST, d'après LEHNER et BRUNNER. — 1 volume in-16 de 345 pages. — Prix. . . . **5** fr

*Fécule.*

**Fabrication de la Fécule, l'Amidon et leurs Dérivés**, par J. FRITSCH, chimiste; in-16 avec 112 figures—Prix. **6** fr.

*Filets de pêche.*

**Fabrication et Emploi des Filets de Pêche**, par le commandant VANNETELLE; 1 vol. in-16, 64 figures. — Prix . . . . . **3** fr.



Fabrication des filets de pêche.

*Galvanoplastie* (Voir ELECTROLYSE).

**Manuel de Galvanoplastie.** Dorure, argenture, cuivrage, nickelage, étamage, par Georges BRUNEL; 1 volume in-16, avec 28 fig. dans le texte. — Prix . . . **4** fr.

*Galvanoplastie.* — Décomposition électrolytique. — Appareils. — Sources d'électricité. — Piles. — Machines dynamos. — Accumulateurs. — Préparation des surfaces. — Moulage. — Métallisation. — Mise au bain. — Galvanotypie.

*Électrochimie.* — Préparation des surfaces. — Décapages. — Dorure à froid, à chaud. — Dédorage. — Extraction de l'or des vieux bains. — Argenture. — Conduite de l'opération. — Résumé des opérations. — Désargenture. — Extraction de l'argent des vieux bains. — Argenture des miroirs et des glaces. — Cuivrage. — Laitonisage. — Nickelage. — Préparation des pièces. — Conduite de l'opération. — Dénickelage. — Divers métaux. — Zingage. — Ferrage et aciérage. — Platinage. — Aluminiage. — Plombage. — Étamage. — Antimoniage. — Cobaltisage.

*Dépôts métalliques par simple immersion. — Finissage des pièces. — Procédés, Recettes et tours de main.* — Dorure au trempé. — Dorure de l'aluminium. — Argenture au trempé. — Cuivrage au trempé. — Étamage au trempé. — Antimoniage au trempé. — Ors de couleur. — Argent et vieil argent. — Epargnes. — L'anthropoplastie galvanique. — Formules et procédés utiles. — Recettes diverses.

*Gaz* (Voir COMBUSTIBLES).

**Études sur divers Gaz combustibles**, par A. DENCAUCHEZ, ingénieur civil.

1re partie. — Usages industriels et principalement pour la production de la force motrice: 120 pages, 2 planches, 33 figures, 1899. — Prix . . **3** fr.

2me partie. — Production des gaz, des gazogènes et des hauts-fourneaux, épuration et emploi par les moteurs à gaz; 116 pages, 4 planches, 10 figures, 1902. — Prix . . . . . **3** fr.

*Géodésie.*

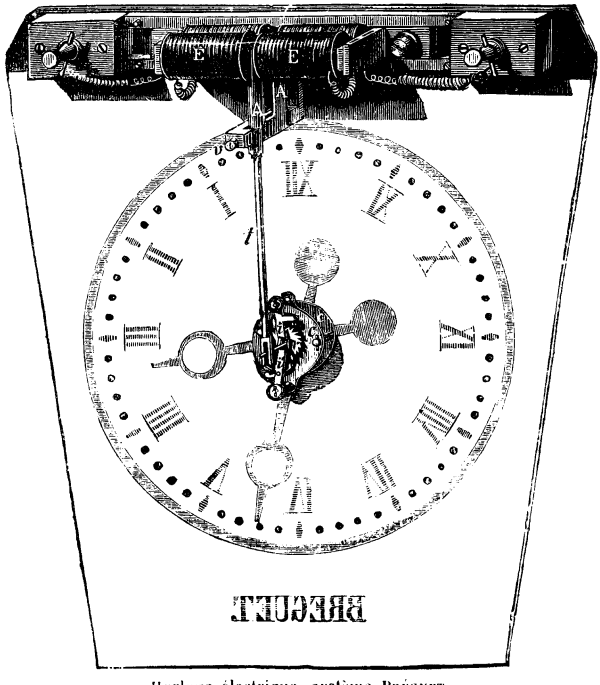
**Manuel pratique de Géodésie**, par G. DALLET, du Service géographique de l'Armée; in-16, figures dans le texte. — Prix. . . **4** fr.

*Goudrons.*

**Étude sur les Goudrons et leurs nombreux Dérivés**, par KNAB, ingénieur-chimiste, grand in-8° de 102 pages avec 8 fig. (1884).— Prix. . . . . **3** fr.

*Horlogerie.*

**L'Horlogerie électrique**, par A. TOBLER, professeur à l'École polytechnique de Zurich. Édition française revue et augmentée, par L. DE BELFORT DE LA ROQUE, ingénieur civil. — Un volume in-16, avec 65 figures dans le texte. — Prix. . . . . **3** fr.




Horloge électrique, système BRÉGUET.

TABLE DES MATIÈRES. — Unités de mesures. — Unités fondamentales, système C. G. S. — Unités géométriques. — Unités mécaniques. — Unités électro-magnétiques. — Introduction. — Appareils à cadrans sympathiques et régulateurs. —

Horloges de Wheatstone, Bain, Garnier, Stohrer, Fritz, Bréguet, Siemens et Halske, du chemin de fer de Droz, de Houdin-Callaud et Mildé, Gloesener, Hipp. Arzberger. — Appareil de contact à mercure de Leclanché et Napoli, et de E. Lias. — Remise à l'heure. — Systèmes de Bréguet, de Collin. — Réglages des horloges à Berlin, à Paris. — Système de Barraud et Lund. — Système de Hipp. — Horloges à pendules électriques de Liais et de Kramer. — Horloge à pendule de Hipp. — Horloge de Schweizer. — Pendules à remontoir électrique. — Pendules à remontoir Mouilleron et Anthoine. — Pendule de Callaud. — Horloge de M. Bréguet. — Pendule électrique à remontoir et à sonnerie, système Japy frères et Cie. — Horloges électriques, système Château. — Horloges à remontage électrique.

*Houille.*

**La Houille.** Epuration, criblage, triage et lavage de la houille, par A. BURAT, ingénieur, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures; in-4° avec 8 planches in-folio (1881). — Prix. . . . . **10** fr.

*Ingénieur.*

**Carnet de l'Ingénieur.** Recueil de tables, de formules et de renseignements usuels et pratiques sur l'industrie, chimie, physique, mécanique, machines à vapeur, hydraulique, résistance, frottements, etc., à l'usage des ingénieurs, des constructeurs, des architectes, des chefs d'usines, des mécaniciens, des directeurs et conducteurs de travaux, des agents-voyers, des manufacturiers et des industriels; par une réunion d'ingénieurs et de savants français et étrangers (Carnet Lacroix); 1 volume in-16, relié toile, format de poche, 400 pages petit texte compact, avec nombreuses figures, etc. — 53me tirage. — Prix. . . . . **4** fr. **50**

*Irrigations.*

**Irrigations du Midi de l'Espagne**, par M. AYMARD, ingénieur des ponts et chaussées; in-8°, 320 pages et atlas de 16 planches in-fol. — Publié à 30 fr. (1864). — Prix. . . . . **18** fr.

Tout le monde sait que des résultats merveilleux ont été obtenus dans le Midi de l'Espagne, contrée autrefois aride et dévastée par les torrents; mais peu de personnes connaissent les travaux qui ont amené ces résultats, et pourraient dire par quelles combinaisons administratives on a pu grouper et réunir en faisceau toutes les volontés qui ont concouru à créer l'état de choses existant et qui concourent à le maintenir et à l'améliorer.

L'ouvrage de M. Aymard est tellement rempli de faits et présente, sur une foule de points, des renseignements si détaillés et si étendus, qu'il est presque impossible de l'analyser. Il donne une description détaillée des travaux à l'aide desquels on a créé les irrigations. L'auteur a aussi consacré un chapitre fort complet à l'alimentation des villes qu'il a visitées.

*Laine.*

**Travail des Laines cardées.** Cardage et filage, par A. LOHRISCH, édition française, par H. DANZER, ingénieur; in-8°, 86 pages et 52 figures. Prix. . . . . **3** fr.

*Lait.*

**Laiterie, Beurre et Fabrication des Fromages.** Lait. — Analyse. — Conservation. — Écrémage. — Barratage. — Conservations. — Fromages mous, frais, affinés, cuits, etc., par E. RIGAUX, professeur à l'École d'Agriculture de Mende, 320 pages, 73 figures. — Prix . . . **3** fr.

*Laminage.*

**Manuel pratique de Laminage du Fer.** Principe du laminage. — Influence du diamètre des cylindres. — Influence de la vitesse. — Influence de la nature, de l'état calorique et de la manière dont on présente le fer aux cylindres. — Applications des principes du laminage. — Classement des trains de laminoirs. — Règle du tracé des cannelures. — Classification des trains de laminoirs. — Trains de puddlage. — Gros train n° 1. — Gros train n° 2. — Train cadet. — Train à guides. — Train mixte. — Train machine. — Généralités sur les cylindres. — Classification des cylindres. — Lignes des cannelures. — Entrée des cannelures. — Sortie des cannelures. — Guidage des cylindres. — Levage des cylindres. — Montage des cylindres dans les cages. — Guidage du fer à l'entrée et à la sortie des cylindres. — Tracé des cannelures.

*Acier* : Dégrossisseurs ogives. — Dégrossisseurs carrés. — Mises du puddlage. — Fers plats. — Gros ronds. — Gros carrés. — Feuillards. — Fers en U. — Fers à T doubles-cornières. — Fers à simple T. — Fers à paumelles. — Fers zorès. — Rails. — Fers à bourrelets. — Fers demi-ronds. — Vitrages et demi-vitrages. — Fers à nœuds pour crampons. — Petits carrés aux guides. — Petits ronds droits aux guides.

Par F. NEVEU et L. HENRY, ingénieurs-métallurgistes ; 1 volume in-16, avec 6 figures et 10 tableaux et atlas de 117 planches in-folio. — Prix. . **40** fr.

*Mécanique et Machines* (Voir CHAUFFEURS).

**Éléments proportionnels de Construction mécanique,** disposés en séries propres à faciliter l'étude et l'exécution des diverses pièces détachées des constructions mécaniques, par D.-A. CASALONGA, ingénieur civil, ancien élève des Arts et Métiers ; 1 vol. cartonné, grand in-4°, comprenant un texte et 64 planches. — Prix . . . . . **25** fr.

Le but de cet ouvrage est de permettre de déterminer rapidement par une simple lecture et d'une façon précise, les dimensions des divers détails d'une construction mécanique donnée.

Il se compose d'un texte et de planches comprenant les figures des pièces étudiées et divers tableaux donnant toutes les dimensions des séries les plus employées.

Cet ouvrage contient 2,405 séries et 37,734 dimensions diverses.

Les dessinateurs-mécaniciens, les chefs de travaux ou de bureaux de dessin, les ingénieurs pour la construction, trouveront un aide efficace et un contrôle sûr dans la possession de ces documents, où ils puiseront les détails des projets dont ils auront déterminé les conditions principales.

*Mécanique. — Mécaniciens.*

**Manuel Encyclopédique du Mécanicien.** 8 volumes in-16 avec nombreuses figures dans le texte, par M. Georges FRANCHE, ingénieur-mécanicien (Arts et Métiers, E. C. P).

1re Partie. — Mécanique générale.
2me — Outils. Machines-Outils.
3me — Forge, Fonderie.
4me — Engrenages, Transmissions.
5me — Boulons, Rivets, Chaudronnerie.
6me — Machines à vapeur:
7me — Moteurs à gaz, pétrole et alcool.
8me — Hydraulique.

Les 8 parties se vendent réunies en un fort volume in-16, reliure anglaise (sous presse).

**Cours de Chaudières et de Machines à vapeur.** Théorie et pratique, par L. POILLON, ingénieur-mécanicien (1877) avec supplément (1879), 2 beaux volumes in-8°, 687 pages et 14 planches. — Publié à **30** fr. — Réduit à. . . . . **9** fr.

**Catéchisme des Chauffeurs et des Machinistes.** Législation. — Combustion. — Conduite. — Entretien. — Mise en marche. — Organes, etc., 5me édition revue et augmentée, in-16, figures dans le texte. Prix . . . . . **1** fr. **50**

**Des Régulateurs appliqués aux Machines à vapeur** par V. LEBEAU, in-8°, 19 figures (1890). — Prix . . . . . **2** fr.

*Meunerie.*

**Manuel pratique de Meunerie.** Meules et Cylindres. — Les céréales.—Mouture.—Les farines.—Par A. LARBALÉTRIER, professeur à l'École d'agriculture d'Oraison et de L. DE BELFORT DE LA ROQUE, ingénieur-chimiste; 1 fort volume in-16, figures dans le texte. — Prix . . . . . **6** fr.

*Mines. — Minéralogie. — Lithologie* (Voir SONDAGES).

**Manuel pratique du Prospecteur.** — Guide du prospecteur et du voyageur pour la recherche des métaux et des minéraux précieux, par J.-W. ANDERSON. — Édition française, d'après la huitième édition anglaise, par J. ROSSET, ingénieur civil des Mines. — In-16, 73 figures dans le texte (1901). Prix : cartonné toile, **5** fr. ; broché. . . . . **4** fr. **50**

**Cours de Minéralogie professé à l'École Centrale,** par DE SELLE, professeur à l'École Centrale. — Minéralogie : phénomènes actuels. Les dix-huit premiers chapitres traitent des phénomènes qui ont bouleversé notre globe; les chapitres suivants traitent de la minéra

logie et donnent la description de toutes les espèces et variétés minérales considérées comme indiscutables et classées par familles; 1 fort volume de 585 pages in-8° et 1 atlas de 147 planches comprenant 978 figures et 27 tableaux. (Publié à 25 fr.). — Prix. . . . . **12 fr. 50**

**Lithologie du fond des Mers**, publié sous les auspices de MM. les Ministres de la Marine et des Travaux publics, par M. DELESSE, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines. — 1 volume in-8°, 480 pages de texte; 1 volume de 136 pages de tableaux et un atlas de 4 planches in-folio, en couleurs (Publié à 35 francs). — Prix. . **12 fr. 50**

*Or.*

**L'Or. Gîtes aurifères. Extraction de l'Or.** Traitement du minerai. — Emplois et analyse de l'or. — Vocabulaire des termes aurifères. — Par H. DE LA COUX, ingénieur-chimiste; 1 beau volume in-16, nombreuses figures dans le texte. — Prix. . . . . **5 fr.**

*Parfumerie.*

**Manuel du Parfumeur.** Odeurs, essences, extraits et vinaigres de toilette, poudres, sachets, pastilles, émulsions, pommades, dentifrices; par W. ASKINSON; 2me édition française, par G. CALMELS. — Histoire de la parfumerie. — Matières odorantes en général. — Matières odorantes extraites du règne végétal. — Matières animales. — Produits chimiques. — Préparation des matières odorantes. — Des falsifications des huiles essentielles. — Essences et extraits. — Parfumerie proprement dite. — Parfums de mouchoirs. — Parfums ammoniacaux. — Des parfums secs. — Pastilles fumigatoires. — Parfumerie cosmétique et hygiénique. — Préparation des émulsions, des poudres, des pâtes, du lait végétal et des crèmes. — Des préparations employées pour l'hygiène des cheveux et de la bouche. — Parfumerie cosmétique. — Fards et produits servant à embellir la peau. — Préparation pour colorer les cheveux et préparations épilatoires. — Cires, bandolines et brillantines. — Des couleurs employées en parfumerie. — 1 fort volume in-16 avec 30 figures dans le texte. — Prix . . . . . **6 fr.**

**Les Huiles essentielles**, par E. GILDEMEISTER et FR. HOFFMANN. Traduction par A. GAULT, avec préface de A. HALLER, professeur à l'Université de Paris. — Historique des procédés et appareils distillatoires. — Préparation des huiles par la distillation. — Principes constituants. — Essai des huiles essentielles. — Plantes d'où l'on tire les huiles essentielles. — Origine, production, propriétés. — Composition et commerce des huiles essentielles. 1 vol. in-8°, 868 pages, avec 84 gravures et 2 cartes 1900, 1/2 reliure avec coins tranches marbrées . . . . . **25 fr.**

*Phonographe.*

**Le Phonographe et ses applications**, par A.-M. VILLON, ingénieur. — 1 volume in-16, avec 36 figures dans le texte. — Prix. **2 fr.**

*Photographie.*

**Photographie. Encyclopédie de l'Amateur-Photographe,** par MM. G. BRUNEL, P. CHAUX, E. FORESTIER et A. REYNER; 10 volumes in-16, près de 500 figures dans le texte. — Prix (les 10 volumes dans un élégant étui) . . . . . **20** fr.

On vend séparément chaque volume. . . . . **2** fr.

Voici les titres des volumes et l'analyse des matières que chacun renferme. On pourra ainsi juger du plan adopté pour cette *encyclopédie* appelée, croyons-nous, à rendre les plus grands services, aussi bien aux débutants qu'aux amateurs exercés.

N° 1. — **Choix du matériel et installation du laboratoire.** — Ce que c'est que la photographie. — Théorie abrégée. — Formation des images. — Image latente. — Corps sensibles, leur révélation. — Termes photographiques. — Différents appareils. — Les diaphragmes, les obturateurs. — Le laboratoire élémentaire ou complet, comment on l'installe. — Les accessoires. — Les produits, leur conservation. — Conditions hygiéniques du laboratoire, par G. BRUNEL et E. FORESTIER. — Prix . . . . . **2** fr.

N° 2. — **Le sujet. — Mise au point. — Temps de pose.** — Classement des opérations. — Choix du sujet. — Son éclairage. — Station et mise au point. — Le temps de pose. — Composition des vues, par G. BRUNEL. — Prix . . . . . **2** fr.

N° 3. — **Les clichés négatifs.** — Les plaques sensibles. — Les pellicules. — Mise en châssis. — Le développement. — Les révélateurs, leur action. — Choix de révélateurs. — Formules simples et précises. — Les révélateurs à un bain, à deux bains. — Les révélateurs automatiques. — Fixage. — Lavage. — Alunage. — Séchage. — Vernissage. — Conservation des négatifs. — Répertoire des clichés. — Par G. BRUNEL et E. FORESTIER. — Prix . . . . . **2** fr.

N° 4. — **Les épreuves positives.** — Les épreuves positives. — La préparation du papier sensible. — Différents papiers fournis par l'industrie. — Différents bains. — Les viro-fixateurs. — Virage, fixage. — Lavage, séchage. — Finissage. — Collage, montage, satinage. — Préparation d'un album. — Par G. BRUNEL. — Prix. . . . . **2** fr.

N° 5. — **Les insuccès et la retouche.** — Mauvais négatifs, mauvais positifs; causes, discussions, recherches. — Moyens d'éviter les insuccès. — Remèdes. — Bains compensateurs. — La retouche des clichés et des photocopies. — Par G. BRUNEL. — Prix. . . . . **2** fr.

N° 6. — **La photographie en plein air.** — Appareils spéciaux. — Détectives et jumelles. — La photographie instantanée. — Les sujets, conditions qu'ils doivent remplir. — La pose. — Les opérations de laboratoire. — La photographie scientifique, topographique, ethnographique, beaux-arts, par G. BRUNEL et P. CHAUX. — Prix . . . . . **2** fr.

N° 7. — **Le portrait dans les appartements.** — Disposition et éclairage. — Les objectifs. — La mise au point. — Les écrans. — La pose et le maintien du modèle. — Différents procédés. — Conduite des opérations, par A. REYNER. — Prix . . . . . **2** fr.

N° 8. — **Les agrandissements et les projections.** — Les agrandissements et les réductions. — Les projections. — Les positifs sur verre. — Epreuves sur opale. — Epreuves artistiques, par G. BRUNEL. — Prix. . . . . **2** fr.

N° 9. — **Les objectifs et la stéréoscopie.** — Quelques notions d'optique. — L'objectif photographique. — Différentes formes. — Classement. — Défauts, qualités. — Choix des objectifs. — Essai des objectifs. — Détermination et comparaison de la valeur des objectifs. — La photographie stéréoscopique, par G. BRUNEL. — Prix. . . . . **2** fr.

N° 10. — **La photographie en couleurs.** — Positifs colorés sur verre et sur papier, monochromes et polychromes. — Les différents tons pouvant être obtenus à l'aide du bain de virage. — La photographie des couleurs. — La photominiature et la photopeinture, par G. BRUNEL. — Prix . . . . . **2** fr.

**Nouveau traité complet de Photographie pratique,** contenant les découvertes les plus récentes, par A. LIÉBERT, artiste photographe à Paris ; 4me édition augmentée d'un appendice théorique et pratique sur le gélatino-bromure, 1 beau volume in-8° de 700 pages, 77 figures et 18 photographies, cartonnage élégant, toile anglaise avec plaque spéciale (1884, publié à 25 fr.). — Prix. . . . . **12** fr. **50**

**Guide du Photographe et de l'Amateur Photographe,** par PAUL FABRE-DOMERGUE, 1 volume in-16, 128 pages, 48 figures, couverture ornée d'une épreuve instantanée. — Prix. . . . . **3** fr.

*Piles* (Voir ACCUMULATEURS-ÉLECTROLYSE).

**Les Piles électriques et les Piles thermo-électriques,** par W. HAUCK. — Troisième édition française, par G. FOURNIER, ingénieur-électricien. — 1 fort volume in-16, orné de 71 fig. dans le texte. — Prix . . . . . **4** fr. **50**

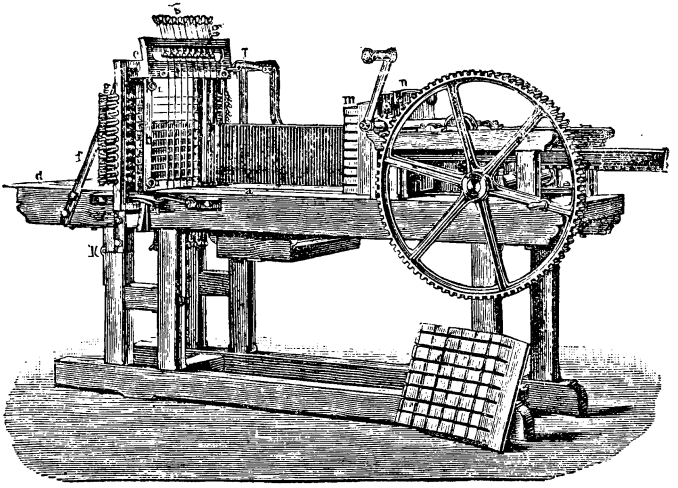
*Radiographie.*

**Manuel pratique de Radiographie.** Pratique des rayons X, par G. BRUNEL. — 1 volume in-16 avec figures dans le texte. — Prix. **1** fr.

*Savons* (Voir BOUGIES).

**Manuel pratique du Savonnier.** *Savons communs, savons de toilette, mousseux, transparents, médicinaux, pâtes et émulsions, analyse des savons*, par MM. CALMELS et WILTNER, chimistes.

EXTRAIT DE LA TABLE DES CHAPITRES : Historique des savons. — Réaction fondamentale de la saponification. — Des matières employées pour la fabrication des savons. — Préparation des lessives alcalines. — Fabrication du savon. — De la saponification en général. — Classification des savons. — Fabrication des



Machine à mouler les savons.

diverses sortes de savons. — Savons médicinaux. — Moulage des savons. — Tableaux de cuisson. — Fabrication des savons par la vapeur. — Fabrication des savons de toilette. — Préparation de la masse destinée à la fabrication des savons de toilette. — Description des machines employées pour la fabrication des savons de toilette. — Couleurs et substances colorantes. — Recettes pour la préparation des savons de toilette. — Analyse des savons. — 1 volume in-16, 26 figures dans le texte. — Prix. . . . . **4** fr

*Soie.*

**Manuel pratique de la Soie.** Education des vers. — Filage des cocons. — Cuite. — Assouplissage. — Blanchiment. — Filature des déchets. — Moulinage. — Conditionnement des soies. — Teinture et dorure de la soie. — Par A. VILLON, ingénieur à Lyon ; 1 fort volume in-16, nombreuses figures dans le texte. — Prix. . . . . **6** fr.

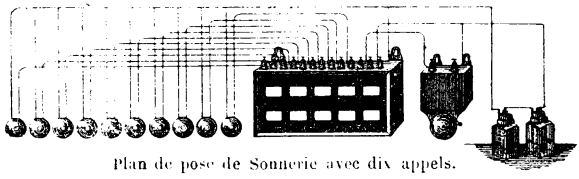
*Sondages* (Voir MINES).

**Manuel pratique de Sondages.** Études et recherches souterraines par sondages à de faibles profondeurs, par Ed. LIPPMANN, ingénieur civil. — 1 vol. in-16, avec 5 planches (1901). Prix, cartonné . . . . **4 fr. 50**

*Sonneries Electriques.*

**Les Sonneries électriques.** Installation et entretien, par Georges FOURNIER, ingénieur-électricien, d'après O. CANTOR. — Quatrième édition. — 1 volume in-16, avec 59 figures dans le texte. — Prix . . . . . **2 fr. 50**

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES. — Préface. — Unités électriques. — Introduction. — Les sonneries électriques employées aux usages domestiques. — Les appareils avertisseurs automatiques. — Installation et pose des circuits et appareils. Règles à observer. — Exemple de pose et d'installation. — Calcul des intensités de courant nécessité dans la pratique. Exemples. — Les sonneries électromagnétiques.



Plan de pose de Sonnerie avec dix appels.

**Album de 32 plans de pose de sonneries électriques,** par S. DENIS, fils aîné, constructeur-mécanicien. — Troisième tirage, in-12 oblong. — Prix. . . . . **1 fr.**

*Sucre.*

**Manuel du Fabricant de Sucre.** Sucre de betteraves, de cannes; par P. BOULIX, chimiste-industriel: 1 beau volume in-16, 30 figures dans le texte (1889). — Prix. . . . . **6 fr.**

**Fabrication du Sucre** (Traité complet théorique et pratique de la). — Guide du fabricant, par le Dr Charles STAMMER; 1 volume gr. in-8°, 718 pages avec 165 figures, nombreux tableaux dans le texte et 3 planches. Cartonné. (1875). — Prix. . . . . **20 fr.**

**Manuel pratique de Diffusion.** Historique. — Théorie. — Diffusion. — Contrôle. — Rendements. — Devis. — Installation, par ÉLIE FLEURY et ERNEST LEMAIRE, in-8° (1880). — Prix réduit . . . . **3 fr.**

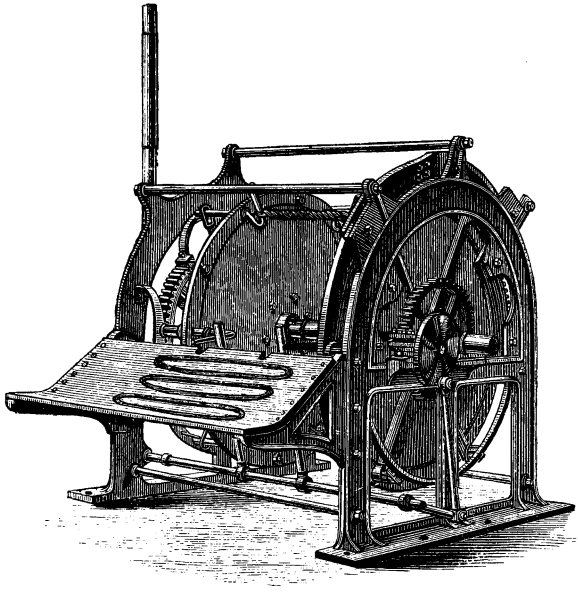
*Tabac.*

**Tabac.** Description historique, botanique et chimique. — Climat. — Culture. — Frais. — Produits. — Mode de dessiccation. — Séchoirs. — Conservation. — Commerce; par V.-P.-G. DEMOOR. — In-18, 130 pag., 20 fig. — Prix. **2 fr.**

*Teinture* (Voir COULEURS).

**Manuel pratique du Teinturier.** Matières colorantes, par J. HUMMEL, directeur du Collège de Teinture de Leeds. Edition française, par M. F. DOMMER, professeur à l'École de physique et de chimie industrielles. — 1 fort volume in-16, 80 figures dans le texte.

Le Traité de la Teinture des Tissus, du professeur Hummel, est le livre classique des teinturiers anglais.



Machine pour exprimer le fil à teindre en rouge turc.

Nous avons pensé qu'il ne serait pas sans intérêt, pour les teinturiers français, de connaître cet ouvrage, où le praticien trouvera, à côté de la théorie, la pratique raisonnée des opérations de teinture, en même temps qu'une étude complète des matières colorantes, considérées au point de vue de leurs applications. — Prix. . 7 fr. 50

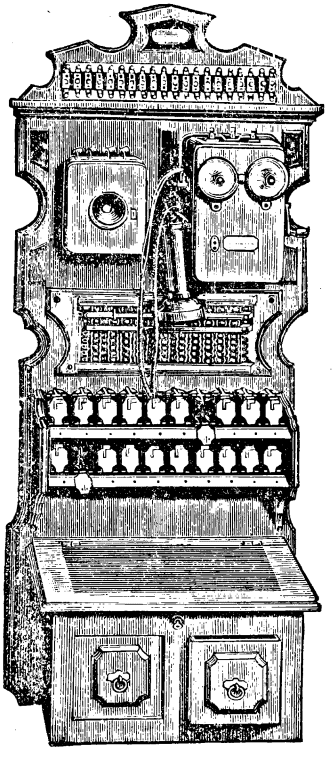
*Télégraphie.*

**Traité de Télégraphie électrique.** Cours théorique et pratique à l'usage des fonctionnaires de l'Administration des Lignes télégraphiques, des ingénieurs, constructeurs, inventeurs, employés des Chemins de fer, etc., etc , par E.-E. BLAVIER, inspecteur des Lignes télégraphiques. — 2 beaux volumes in-8° de 952 pages, avec 413 figures dans le texte (1867) (Publié à 20 fr.). — Prix. . . . . 10 fr.

*Téléphonie*

**Manuel pratique du Téléphone.** 1re partie. — Installations privées. — Téléphone. — Microphone et Radiophone, par Théodore SCHWARTZE. — Troisième édition française, par S. FOURNIER et D. TOMMASI. — 1 volume in-16, avec 153 figures dans le texte. — Prix. . . . . **4** fr.

2me partie. — Traité de téléphonie. — Installations industrielles à grande distance, par le Dr V. WIETLISBACH. — 1 volume in-16, avec 123 figures dans le texte. — Prix . . . . . **4** fr.



Spécimen des figures de la *Téléphonie Industrielle*.

*Tourbe.*

**La Tourbe.** Son extraction et son emploi comme combustible industriel, guide pratique de la fabrication des briquettes de tourbe et pour leur utilisation générale en métallurgie, en verrerie, en cristallerie et pour le chauffage au gaz, par M. LENGAUCHEZ. — 1 volume grand in-8°, avec atlas in-4° de 17 planches doubles. — Prix. . . . . **7** fr. **50**

*Transport de la force.*

**Le Transport de la force par l'Electricité,** par Ed. JAPING, ingénieur-électricien. — Troisième édition française. — Annotée et augmentée de la description des plus récentes applications du Transport de la force, par M. Marcel DEPREZ, membre de l'Institut. — 1 volume in-16, avec 49 figures dans le texte. — Prix . . . . . **5** fr.

EXTRAIT DE LA TABLE. — Introduction du transport de la force en général et en particulier du transport de la force par l'électricité. — Forces naturelles propres à être transmises par l'électricité. — Machines électriques pour la production du courant électro-moteur. — Théorie de la transformation du courant en travail. — Considérations théoriques concernant le rapport de la force à de grandes distances. — Emploi des machines électriques. — Les conducteurs électriques. — La propagation et la distribution du courant électrique. — Distribution du courant électrique. — Transformateurs et accumulateurs. — Procédé pour diminuer les pertes d'énergie. — Applications industrielles. — Rendement économique du Transport de la force par l'électricité. — Appendice. Nouvelles expériences du transport de la force.

*Turbines.*

**Construction des Turbines et des Pompes centrifuges,** par Lucien VALLET, ingénieur-constructeur. — 1 volume in-8° et atlas de 15 planches (1875). — Prix. . . . . **15** fr.

Tout à la fois théorique et pratique, cet ouvrage expose d'une manière complète les principes relatifs à la construction des turbines, de manière à obtenir de ce moteur le maximum d'effet utile.

Il donne la théorie et la méthode pour la détermination exacte de la forme des aubes et des trajectoires. Les deux cas principaux : turbines à débit constant et turbines à libre déviation, à débit variable, y sont traités avec tous les développements nécessaires.

*Vernis.*

**Manuel pratique du Fabricant de Vernis.** Gommes. — Huiles. — Térébenthines. — Huiles siccatives. — Vernis gras. — Vernis à l'essence. — Vernis à l'alcool, par E. COFFIGNIER, 1 fort volume in-16, avec figures. — Prix . . . . . **5** fr.

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES. — Matières premières. — Analyses des gommes. — Résinates et linoléates. — Les dissolvants. — Huiles végétales. — Les Térébenthines. — La gemme. — Les résineux. — Fabrication des huiles siccatives. — Diverses cuissons. — Fabrication des vernis gras. — Analyse et essai des vernis. — Différents vernis à l'essence. Leur mode de fabrication. — Fabrication des vernis à l'alcool. — Les principaux vernis à l'alcool. — Vernis mixtes. — Vernis au caoutchouc. — Vernis à l'eau.

*Vinaigre.*

**Manuel pratique du Vinaigrier.** Méthodes nouvelles de fabrication du vinaigre, par Ch. FRANCHE, ingénieur-chimiste. — Un beau volume in-16, nombreuses figures dans le texte (1901). — Prix . . **4** fr. **50**

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES. — Acide acétique. — Propriétés générales. — Origine chimique de l'acide acétique. — Fermentation acétique. — Choix des liquides pour la fabrication du vinaigre. — Différentes méthodes : Méthode d'Orléans, Méthode Pasteur, Méthode anglaise, Nouvelles Méthodes, etc. — Propriétés, traitement, conservation, emmagasinage. — Essai et analyse du vinaigre. — Falsifications.

*Vins* (Voir ARBRES FRUITIERS. VIGNE).

**Manuel général des Vins** (Nouvelle édition revue et corrigée), par Édouard ROBINET (d'Epernay).

Le manuel général des vins dont nous offrons une nouvelle édition au public est naturellement un livre indispensable, non seulement au public spécial, négociants

en vins, viticulteurs, etc., mais encore à tous ceux qui possèdent une cave. Les connaissances spéciales, la longue expérience de l'auteur donnent au second volume une importance considérable, et nous ne craignons pas de dire qu'il n'est pas un seul fabricant de vins mousseux qui ne l'ait consulté avec fruit.

Le troisième volume forme un guide d'analyse des vins, mettant cette science si délicate à la portée de tous; il complète la bibliothèque du négociant, du viticulteur et du simple particulier.

Trois beaux volumes in-16, de 1,366 pages et 136 figures. — Prix. . . **15** fr.

*On vend séparément :*

Tome I^er^. — Vins rouges. — Vins blancs. — Vins artificiels. . . . . **5** fr.
Tome II. — Vins mousseux. — Champagnes. . . . . **5** fr.
Tome III. — Analyse des Vins. — Fermentation. — Falsifications. . . . **5** fr.

# DICTIONNAIRE
DE
# CHIMIE INDUSTRIELLE

## COMPRENANT TOUTES LES APPLICATIONS DE LA CHIMIE

**à l'Industrie, à la Métallurgie, à l'Agriculture, à la Pharmacie et aux Arts et Métiers**

*avec la traduction russe, anglaise, allemande, espagnole et italienne de la plupart des termes techniques*

PAR MM.

**A.-M. VILLON**
INGÉNIEUR-CHIMISTE
PROFESSEUR DE TECHNOLOGIE CHIMIQUE

**P. GUICHARD**
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS
ANCIEN PROFESSEUR DE CHIMIE
A LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE D'AMIENS

**AVEC LA COLLABORATION D'UN GROUPE DE CHIMISTES ET D'INGÉNIEURS**

---

Le but de cette nouvelle Encyclopédie est de réunir, sous une forme facile à consulter, débarrassée de tous les détails théoriques, l'ensemble de nos connaissances actuelles sur la Chimie industrielle. — Elle s'adresse à toute personne appelée à s'occuper, de près ou de loin, des questions si importantes, mais souvent fort embarrassantes, de la chimie appliquée. L'industriel est souvent gêné, lorsqu'il veut se procurer les renseignements dont il a besoin. Les traités spéciaux ne donnent pas entière satisfaction aux nécessités si diverses des exploitations industrielles. Tantôt le document pratique cherché est noyé dans des détails trop théoriques, tantôt il est entouré d'explications plus ou moins claires, qui en rendent la lecture obscure et trop abstraite. — Le chimiste industriel est un expérimentateur. Il faut qu'il soit en état d'user à temps de tous les procédés connus, de toutes les méthodes de contrôle reconnues exactes, sauf à inventer lui-même de nouveaux moyens appropriés aux circonstances au milieu desquelles il se trouve placé.

### Mode de publication :

L'ouvrage complet en 36 livraisons, forme 3 vol., petit in-4°.

L'ouvrage complet, au prix de 75 francs, est payable 37 fr. 50 comptant et 37 fr. 50 à trois mois.

Le Tome Ier (fascicules 1 à 12) se vend séparément 30 francs.

Le Tome II (fascicules 13 à 22) se vend séparément 25 francs.

Le tome III (fascicules 23 à 36) se vend séparément 25 francs.

---

Voir pages 30 et 31 un spécimen réduit d'une page de texte et la nomenclature des fascicules.

Les fascicules sont vendus séparément :

Fascicules 1 à 19, chaque fascicule, 3 francs.

Fascicules 20 à 36, — — 2 —

## Dictionnaire de Chimie Industrielle (*Suite*)

Chaque Fascicule se vend séparément

| | | |
|---|---|---|
| 1 : | *Abaca à Acide azotique ;* 46 figures | 3 fr. |
| 2 : | *Acide azotique — Acide phénique;* 62 figures | 3 — |
| 3 : | *Acide phosphoreux — Acide sulfurique;* 75 figures | 3 — |
| 4 : | *Acide sulfurique — Air;* 44 figures | 3 — |
| 5 : | *Air — Alliages;* 42 figures | 3 — |
| 6 : | *Alliages — Amphibole;* 54 figures | 3 — |
| 7 : | *Amphigène — Auramine;* 17 figures | 3 — |
| 8 : | *Auramine — Bismuth;* 37 figures | 3 — |
| 9 : | *Bismuth — Broggérite;* 27 figures | 3 — |
| 10 : | *Brome — Caoutchouc;* 48 figures | 3 — |
| 11 : | *Caoutchouc — Chlore;* 55 figures | 3 — |
| 12 : | *Chlore — Chromates;* 50 figures | 3 — |
| 13 : | *Chromates — Corps composés;* 26 figures | 3 — |
| 14 : | *Corps composés — Dialyseurs;* 50 figures | 3 — |
| 15 : | *Digestion — Eau;* 66 figures | 3 — |
| 16 : | *Eau — Engrais;* 23 figures | 3 — |
| 17 : | *Eponges — Explosifs;* 36 figures | 3 fr. |
| 18 : | *Farines — Fer, etc.;* 29 figures | 3 — |
| 19 : | *Fermentation — Fromages, etc.;* 54 figures | 3 — |
| 20 : | *Gaiac — Gaz d'éclairage;* 28 figures | 2 — |
| 21 : | *Gaz — Glucose;* 12 figures | 2 — |
| 22 : | *Glucose — Gypse;* 13 figures | 2 — |
| 23 : | *Hallosyte — Hydrotimétrie;* 14 figures | 2 — |
| 24 : | *Hydrotimétrie— Jaune;* 7 figures | 2 — |
| 25 : | *Jaune — Lin;* 15 figures | 2 — |
| 26 : | *Linoléum — Monazite;* 15 figures | 2 — |
| 27 : | *Mordants — Or;* 25 figures | 2 — |
| 28 : | *Or — Pain;* 27 figures | 2 — |
| 29 : | *Pain — Pétrole;* 21 figures | 2 — |
| 30 : | *Pétrole — Pommades;* 5 figures | 2 — |
| 31 : | *Poteries — Sang* | 2 — |
| 32 : | *Santal — Soufre;* 17 figures | 2 — |
| 33 : | *Soufre — Teinture;* 39 figures | 2 — |
| 34 : | *Teinture — Verrerie;* 37 figures | 2 — |
| 35 : | *Verrerie — Zircon;* 20 figures | 2 — |
| 36 : | *Complément* | 2 — |

## *Spécimen réduit d'une page du* DICTIONNAIRE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

ALDÉHYDE FORMIQUE

voie la masse dans un appareil à distiller et on chasse l'aldéhyde au moyen d'un courant de vapeur barbotante. Quelquefois, on rectifie encore l'aldéhyde ainsi purifiée.

L'aldéhyde benzoïque commerciale ne subit pas cette rectification, qui entraîne à des pertes sensibles.

*Propriétés.* — L'aldéhyde benzoïque est une huile incolore, très réfringente, possédant une odeur aromatique agréable, rappelant celle des amandes amères et une saveur âcre et brûlante. Elle bout à 180°; sa densité est 1,0504. Elle est soluble dans 30 parties d'eau et miscible, en toutes proportions, avec l'alcool et l'éther.

L'aldéhyde benzoïque est employée en parfumerie et pour la fabrication des couleurs artificielles, comme le vert malachite, le vert brillant, etc.

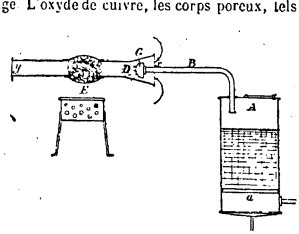
**ALDÉHYDE FORMIQUE.** — [Russe : Муравейный альдегидъ ; Angl. : *Formaldehyd* ; Allem. : *Ameisenaldehyd, Formaldehyd* ; Ital. : *Aldeido formico* ; Esp. : *Aldehide formico*]

Syn. : *Formaldehyde. Formol. Méthanol.*

Formule : $CH^2O$

Ce corps, découvert par Hoffmann, a été plus spécialement étudié par M. Trillat qui a découvert ses propriétés antiseptiques énergiques.

Pour le préparer, M. Trillat dirige un courant de vapeurs d'alcool méthylique, produites dans une chaudière A (fig. ci-dessous), dans un tube en cuivre B, dont l'ouverture G est conique. Ce jet de vapeur, faisant trompe, aspire l'air qui lui est nécessaire pour son oxydation. Le mélange de vapeurs alcooliques et d'air passe sur de l'amiante platinée E, chauffée au rouge. L'oxyde de cuivre, les corps poreux, tels que




Fabrication de l'aldéhyde formique

le charbon des cornues, la porcelaine, le coke, peuvent remplacer l'amiante platinée. Les vapeurs, qui se dégagent, sont composées d'un mélange d'eau, d'alcool méthylique, de formol et de traces d'acide acétique et formique. On les condense dans de l'eau. On purifie la solution aqueuse en l'évaporant pour chasser l'alcool méthylique et les acides ; on peut s'aider du vide. Pour obtenir le formol tout à fait pur, il faudrait passer par sa combinaison bisulfitique.

Le formol, à l'état de solution à 30 ou 40 0/0, est un liquide incolore, sirupeux, d'une odeur piquante. On ne peut l'obtenir plus concentré ; sans cela, il se changerait en trioxyméthylène, qui se déposerait en poudre amorphe.

Le formol n'est pas très volatil ; on peut concentrer ses solutions au bain-marie. Ses vapeurs ne sont pas inflammables.

C'est un antiseptique puissant, à la dose de 1/12000 ; il conserve le bouillon de veau, pendant plusieurs semaines, tandis que le même bouillon, additionné de 1/6000 de bichlorure de mercure, se décompose en 5 ou 6 jours. A la dose de 1/1000, il tue les microbres salivaires en moins de 2 heures.

La viande immergée, pendant 3 minutes, dans une solution d'aldéhyde formique au 1/500, peut se conserver pendant 5 jours ; avec une immersion de 60 minutes, on peut la conserver pendant 25 jours. Les vapeurs d'aldéhyde formique, dégagées d'une solution à 10 0/0, empêchent la corruption de la viande, en faisant agir ces vapeurs sous pression, la conservation est encore plus longue.

**ALÉ.** — V. BIÈRE.

**ALEMBROTH** — [Russe : Алембротова соль ; Angl. : *Alembrot* ; All. *Weisheitssalz* ; Ital. : *Alembroth* ; Esp : *Alembroth, Sal alembrotti*].

Syn. : *Sel alembroth, Sel de sagesse, Sel de science, Chlorohydrargirate ammoniacal.*

Formule : $2AzH^4Cl^2, HgCl^2, H^2O$.

Sel obtenu en mêlant deux solutions, l'une de sel ammoniac et l'autre de bichlorure de mercure, dans les proportions indiquées par la formule ci-dessus. Il est employé en médecine à la place du sublimé.

Le sel d'alembroth insoluble s'obtient en ajoutant de l'ammoniaque à la solution du sel double ci-dessus. Le précipité, lavé et séché, porte les noms de *Lait mercuriel, Mercure précipité blanc, Mercure cosmétique.*

**ALDOL.** — [Russe : Альдолъ ; Angl. : *Aldol* ; Allem. : *Aldol* ; Ital. : *Aldol* : Esp. : *Aldol.*]

Formule : $C^4H^8O^2$.

Produit de condensation de l'aldéhyde. On le prépare en mêlant, peu à peu, 100 g. d'aldéhyde avec 100 g. d'eau, en maintenant la température à 0° C. Ensuite, on ajoute, peu à peu, 200 g. d'acide chlorhydrique refroidi et on abandonne le tout à la lumière diffuse, pendant 5 à 15 jours. Le produit brun est étendu d'eau et neutralisé par le carbonate de soude. On sépare une huile qui vient surnager au dessus du liquide, on filtre celui-ci et on l'agite avec 12 0/0 de son volume d'éther, à cinq reprises différentes. On chasse l'éther par distillation et on distille le résidu sec en s'aidant du vide. Entre 80 et 100°, sous pression de 2 cm. de mercure, on recueille en l'aldol environ 1/4 du poids de l'aldéhyde mise en œuvre.

# REVUE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

REVUE

DES PRODUITS CHIMIQUES, COULEURS, TEINTURE, MÉTALLURGIE, DISTILLERIE, PYROTECHNIE
ENGRAIS, COMESTIBLES, ANALYSES INDUSTRIELLES, ÉLECTROCHIMIE.

Réunie avec la

## Revue de Physique et de Chimie et de leurs applications industrielles

Fondée par **MM. SCHUTZENBERGER** et **LAUTH**

Rédacteur en chef : **M. FLEURENT**, Docteur ès-sciences
Professeur de chimie industrielle au Conservatoire national des Arts et Métiers

*Les années 1890 à 1902 forment* **13** *beaux vol. in-4°*

Prix de chaque vol. : **15** francs

PRIX DES ABONNEMENTS (du 1er Janvier de chaque année)

France. . . . . **12** fr. | Etranger. . . . . **15** fr.

**Spécimen gratuit à toute personne qui en fait la demande**

La faveur toujours croissante avec laquelle le public industriel et savant a accueilli cette publication nous prouve hautement son utilité.

Nous continuerons à tenir nos lecteurs au courant des découvertes, améliorations, méthodes et appareils nouveaux qui viennent chaque jour enrichir le domaine déjà si vaste de l'industrie chimique.

Notre revue reste une tribune ouverte à toutes les observations sérieuses qui peuvent intéresser le public industriel; en faisant appel au zèle et à la sympathie des savants, des ingénieurs et des industriels, nous espérons atteindre plus complètement le but que nous nous sommes proposé et faire œuvre vraiment utile au point de vue des intérêts de l'industrie chimique.

### *Sommaires de quelques numéros de la Revue*

**Note sur l'huile d'élaeococca**, ses propriétés, ses emplois. — **Falsification des huiles comestibles.** Nouveau procédé du dosage de l'huile d'arachide dans les mélanges d'huile. — **L'essence grasse de térébenthine** au point de vue industriel. — **Les applications de la chimie industrielle à l'art militaire.** Torpilles aériennes. — **Fabrication du papier en Amérique.** Le traitement au sulfite. Procédé à la soude. Récupération de la soude. — **Teinture.** Emploi des teintes alizarines sur le cuir chromaté. — **Teinture des tissus.** — **Revue technologique française.** La liquéfaction de l'hydrogène et de l'hélium. Procédé nouveau pour la fabrication de la céruse. Blanchiment du coton en 4 heures. — **Revue technologique étrangère** : Action du sodium sur l'aldéhyde. Réduction du sulfate de zinc. Emploi de l'acide fluorhydrique pour le traitement des borates naturels. Le coton mercerisé comme succédané de la soie, etc. — **Brevets d'invention.**

**Purification des eaux potables**, par P. Guichard. — **Procédé de concentration de l'acide sulfurique.** — **Blanchiment par les corps suroxygénés.** II. Ozone. Fabrication de l'ozone par les procédés Berthelot et Villon, solubilité de l'ozone dans l'eau. — **Fabrication des savons de résine.** — **Les applications de la chimie industrielle à l'art militaire.** L'électricité comme force motrice des navires de guerre. La transformation du fulmicoton en poudre sans fumée. Les obus à dynamite. Les projectiles en aluminium. La toxpire. La détonation des explosifs brisants par les ondes du genre Hertz. Le laiton des cartouches américaines. — **La fermentation sans levure.** — **Revue technologique étrangère.** Méthode rapide pour la détermination du sel dans les graisses. La métallurgie du nickel, etc., etc. — **Brevets d'invention.**

*Envoi franco joindre un mandat-poste à la demande.*

UNIVERSITY OF CHICAGO
097 741 003

## ELECTRICITÉ

**Accumulateurs électriques**, par F. CACHEUX (50 figures) . . . . 4 »
**Cables** d'éclairage électrique, par St. A. RUSSEL . . . . 5 »
**Catéchisme d'Electricité pratique**, par ST-EDME . . . . 2 50
**Compteurs d'électricité**, par E. COUSTET 56 fig. . . . . 2 50
**Dynamo électriques** (Les machines), par P. CLEMENCEAU (116 figures) . . . . 5
**Electrolyse et Electrométallurgie**, par JAPING (46 fig.) . . . . 4 50
**Electricité** (l') **dans la Maison moderne**, (65 fig.), par COUSTET . . . . 4 50
**Galvanoplastie, dorure, argenture**, par BRUNEL . . . . 4 »
**Horlogerie électrique**, par TOBLER (65 fig.) 3 »
**Ingénieur électricien** (Aide Mémoire de l'), par JUPPONT, cart. . . . . 6 »
**Lampes électriques**, par D'URBANITZSKY 4 50
**Lumière électrique** (Manuel pratique de l'installation de la) par ANNEY, 2 vol :
Installations privées, 135 fig. . . . 5 »
Stations centrales, 99 fig. et 10 pl. . . . 5 »
**onteur électricien** (Manuel pratique du) par P. LAFFARGUE, 500 fig. et pl. en couleurs, reliure souple . . . . 9 »
**Piles électriques**, par HAUCK (80 figures) . 4 50
**Sonneries électriques**, par G. FOURNIER (59 figures) . . . . 2 50
**Téléphone** (Manuel pratique du) 2 vol :
Installations privées par SCHWARTZE, 153 fig. . . . . 4 »
Téléphonie industrielle à grande distance, par WIETLISBACH, 123 fig. . 4 »
**Transport de la Force par l'électricité**, par DEPREZ (48 figures) . . . . 5 »

## INDUSTRIES - ARTS-ET-MÉTIERS

**Acétylène** (L'), par DOMMER (140 fig.) . . . 4 50
**Aérostation** (Manuel d') par de FONVIELLE 5 »
**Agriculture**—Petite encyclopédie d'Agriculture, publiée sous la direction de M. A. LARBALÉTRIER.
Les Engrais 1 50. Drainage des terres 1 50. Elevage du bétail 1 50. Jardinage pratique (fleurs et légumes) 1 50 — Lait, beurre et fromage 3 fr. — Céréales et fourrages 1 50 — Arbres fruitiers et Vigne 3 fr. — Cidre et poiré, 1 50.—Volailles, lapins, abeilles 1 50— Machines agricoles, constructions rurales.
**Aluminium** par Ad MINET, 2 vol :
Fabrication, 38 fig. . . . . 4 50
Alliages, emplois recents . . . . 4 50
**Ammoniaque** (Fabrication de l'), par TRUCHOT . . . . 6 »
**Architectes et Entrepreneurs** (Carnet Formulaire des) par C. SEE, cart. . . . 4 50
**Arpentage et Levé de Plans**, par DALLET (73 figures) . . . . 4
**Automobiles** (Manuel du chauffeur-conducteur d') par FARMAN . . . . 3 »
**Automobiles** (Manuel du constructeur d') par M. FARMAN. in-16 et atlas in-4 . . 6

Bière (la) [illegible] et 4 pl. . . . 9 »
**Bougies** [illegible] cation p[illegible] et atlas [illegible] . 20 »
**Briquet**[illegible] . 6 »
**Catéchisme des Chauffeurs-Mécaniciens** 1 50
**Chaux Ciments, Plâtres**, par LEIZUNE (59 figures) . . . . 5 »
**Chocolat** (Fabrication du), par L. DE BELFORT (45 figures) . . . . 4 50
**Cordes, Ficelles et Filins** (Fabrication des) par Alf. RENOUARD (44 figures) . . . 10 »
**Principes de Chimie**, par MENDELEEF, (2 vol. cart. toile) . . . . 15
**Conserves** (Fabrication des conserves alimentaires), par DE NOTER (68 figures) 3 »
**Corps gras**, par VILLON (23 figures) . . . 6 »
**Couleurs, Essences et Vernis** par LEMOINE et Ch. du MANOIR in-8 . . . . 6 »
**Distillateur** (Manuel du), par ROBINET 5 »
**Eaux** (Analyse des), par FABRE DOMERGUE (10 figures) . . . . 1 50
**Encres et Cirages**, (Fabrication des), par DESMAREST . . . . 5 »
**La Fécule et l'Amidon**, par FRITSCH . . . 6 »
**Filets de pêche**, (Fabrication des), par VANNETELLE (65 figures) . . . . 3 »
**Géodésie**, par DALLET . . . . 4 »
**Graissage des Machines**, par THURSTON 4 »
**Ingénieur** (Carnet formulaire de l'), par LACROIX, 52e édition, cart. . . . 4 50
**Laminage du Fer**, par NÉVEU et HENRY (4 vol. et atlas) . . . . 40
**Matières colorantes artificielles**, par MAMY . . . . 6
**Meunerie** (Manuel de), par L. DE BELFORT (58 figures) . . . . 6
**Métallurgie de l'Or**, par DE LA COUX . . . 5
**Parfumeur** (Guide du), par ASKINSON (300 fig.) 6
**Photographie** (Encyclopédie de l'amateur photographe), par G. Brunel, Peyner, Chaux et Forest . . 10 volumes in-16 . . . 1 »
Choix du Matériel, Le Sujet, Temps de pose, Clichés négatifs, Epreuves positives, Insuccès et Retouche, Photographie en plein air, Portrait dans les appartements, Photographie en couleurs, Agrandissements et projections, Objectifs et stéréoscope.
Chaque volume se vend séparément . . 2 »
**Savonnier** (Manuel du) par CALMELS (26 fig.) 4 »
**Soie** (Fabrication de la), par VILLON (67 fig.) 6
**Sondages** (Petit traité de) par E. LIPPMANN 4
**Sucre** (Manuel du fabricant de), par BERLIN (30 figures) . . . . 6
**Teinture** (Manuel pratique du) par J. HUMMEL et F. DOMMER (80 figures) . . . . 6
**Vernis** (Manuel du fabricant de) par CH. COFFIGNIER . . . . 6
**Vinaigre** (Manuel de la Fabrication du) par Ch. FRANCHE (29 fig.) . . . . 4 50
**Vins rouges, vins blancs, etc.**, par ROBINET (50 figures) . . . . 5
**Vins Mousseux**, par ROBINET (56 figures) . 5
**Vins, Analyse** (des), par ROBINET (36 fig.) . 5

Paris. Imp. Louis Lambert, 11, rue Molière